

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6876796号
(P6876796)

(45) 発行日 令和3年5月26日(2021.5.26)

(24) 登録日 令和3年4月28日(2021.4.28)

(51) Int.Cl.

F 1

GO 1 S	7/481	(2006.01)	GO 1 S	7/481
GO 1 S	7/484	(2006.01)	GO 1 S	7/484
GO 1 S	17/18	(2020.01)	GO 1 S	17/18
GO 1 S	17/26	(2020.01)	GO 1 S	17/26
GO 1 S	17/931	(2020.01)	GO 1 S	17/931

A

請求項の数 15 (全 35 頁)

(21) 出願番号	特願2019-527224 (P2019-527224)
(86) (22) 出願日	平成29年11月21日 (2017.11.21)
(65) 公表番号	特表2019-537013 (P2019-537013A)
(43) 公表日	令和1年12月19日 (2019.12.19)
(86) 國際出願番号	PCT/US2017/062708
(87) 國際公開番号	W02018/102188
(87) 國際公開日	平成30年6月7日 (2018.6.7)
審査請求日	令和1年9月5日 (2019.9.5)
(31) 優先権主張番号	62/428,117
(32) 優先日	平成28年11月30日 (2016.11.30)
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国(US)

(73) 特許権者	519174791 ブラックモア センサーズ アンド アナリティクス エルエルシー
	アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94303 パロアルト エンバーカデロ ロード 1880
(74) 代理人	110002789 特許業務法人 I P X
(72) 発明者	クラウチ, ステファン シー. アメリカ合衆国 59715 モンタナ州 ボーズマン イースト・アルダーソン・ストリート 127 アパートメント エー

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光学測距システムによる自動リアルタイム適応走査の方法およびシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光検出と測距 (LIDAR) システムであって、該システムは：

光信号を生成するように構成されたレーザ源；

光信号の周波数または位相の少なくとも1つを変調するように構成された変調器；

変調光信号を送信するように構成された1つ以上の走査光学装置；および

処理回路であって；

第1の角解像度を使用して、1つ以上の走査光学装置の視野内の複数の第1の距離測定値を取得するために1つ以上の走査光学装置を動作させ；

複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートに対応する1つ以上の第1の距離測定値を使用して、複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートに第2の角解像度を割り当て；

複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートに割り当てられた最小角と最大角を拡張し；

複数の第2の距離測定値を取得するために、複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートに割り当てられた、第2の角解像度、拡張された最小角、および拡張された最大角を使用して、1つ以上の走査光学装置を動作させ；および

複数の第2の距離測定値を使用して、自律走行車を制御するように構成された、

処理回路、を含む、

光検出と測距 (LIDAR) システム。

【請求項 2】

10

20

処理回路は、下部半円形状を最小角によって表される下の境界に追加することによって、および上部半円形状を最大角によって表される上の境界に追加することによって、最小角および最大角を拡張するように構成される、

請求項 1 に記載の L I D A R システム。

【請求項 3】

処理回路は、複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートに関する目標空間解像度を使用して、複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートに第 2 の角解像度を割り当てるように構成される、

請求項 1 に記載の L I D A R システム。

【請求項 4】

第 1 の角解像度と第 1 の距離測定値とから規定される空間解像度は、目標空間解像度よりも大きい、

請求項 3 に記載の L I D A R システム。

【請求項 5】

処理回路は、のこぎり歯の軌道を使用して走査するために、1 つ以上の走査光学装置を動作させるように構成される、

請求項 1 に記載の L I D A R システム。

【請求項 6】

1 つ以上の走査光学装置によって送信される変調光信号に応じて戻り信号を受信するように構成された検知器アレイをさらに含み、ここで、処理回路は、戻り信号を使用して少なくとも 1 つの第 2 の距離測定値を決定するように構成される、

請求項 1 に記載の L I D A R システム。

【請求項 7】

処理回路は、複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートの特徴的距離を使用して、複数の第 2 の距離測定値を取得するために基準経路遅延時間を決定し；および

基準経路遅延時間によって複数の第 2 の距離測定値を取得するために使用される基準信号を遅延させる、ように構成される、

請求項 1 に記載の L I D A R システム。

【請求項 8】

複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートは、1 つ以上の走査光学装置の視野の角空間の一部に関連づけられ、および 1 つ以上の第 1 の距離測定値は、特定の距離ゲートに割り当てられた最小距離よりも大きく、かつ特定の距離ゲートに割り当てられた最大距離未満である、

請求項 1 に記載の L I D A R システム。

【請求項 9】

1 つ以上の走査光学装置の視野内の、複数の第 1 の距離測定値を取得するために、第 1 の角解像度を使用して、1 つ以上の走査光学装置を動作させる工程；

複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートに対応する 1 つ以上の第 1 の距離測定値を使用して、複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートに第 2 の角解像度を割り当てる工程；

複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートに割り当てられた最小角と最大角を拡張する工程；

複数の第 2 の距離測定値を取得するために、複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートに割り当てられた、第 2 の角解像度、拡張された最小角、および拡張された最大角を使用して、1 つ以上の走査光学装置を動作させる工程；および

複数の第 2 の距離測定値を使用して、自律走行車を制御する工程、を含む、

請求項 1 - 8 のいずれか 1 つに記載の L I D A R システムを動作させる方法。

【請求項 10】

最小角を拡張する工程は、下部半円形状を最小角によって表される下の境界に追加する工程を含み、および最大角を拡張する工程は、上部半円形状を最大角によって表される上の境界に追加する工程を含み、ここで、最小角と最大角は仰角である、

10

20

30

40

50

請求項 9 に記載の方法。

【請求項 1 1】

複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートに第 2 の角解像度を割り当てる工程は、複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートに関する目標空間解像度を使用して、第 2 の角解像度を割り当てる工程を含み、ここで第 1 の角解像度と第 1 の距離測定値とから規定される空間解像度は、目標空間解像度よりも大きい、

請求項 9 に記載の方法。

【請求項 1 2】

視野内の物体のサイズの所定の値または所定の分数の少なくとも 1 つを使用して、目標空間解像度を決定する工程をさらに含み、前記所定の値は 10 センチメートル以下である

10

、
請求項 1 1 に記載の方法。

【請求項 1 3】

複数の第 1 の距離測定値または複数の第 2 の距離測定値の少なくとも 1 つを取得するために、1 つ以上の走査光学装置を動作させる工程は、のこぎり歯スキャンの軌道を使用した走査のために 1 つ以上の走査光学装置を動作させる工程を含む、

請求項 9 に記載の方法。

【請求項 1 4】

複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートの特徴的距離を使用して、複数の第 2 の距離測定値を取得するために基準経路遅延時間を決定する工程をさらに含み、ここで、1 つ以上の走査光学装置を動作させる工程は、基準経路遅延時間によって複数の第 2 の距離測定値を取得するために 1 つ以上の走査光学装置によって使用される基準信号を遅延させる工程を含む、

20

請求項 9 に記載の方法。

【請求項 1 5】

複数の距離ゲートのうち特定の距離ゲートは、1 つ以上の走査光学装置の視野の角空間の一部に関連づけられ、および 1 つ以上の第 1 の距離測定値は、特定の距離ゲートに割り当てられた最小距離よりも大きく、かつ特定の距離ゲートに割り当てられた最大距離未満である、

請求項 9 に記載の方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

関連出願の相互参照

本出願は、2016年11月30日に出願された仮出願番号 62 / 428 , 117 の利益を主張するものであり、35U.S.C. § 119(e) にしたがって、本参照により、前記仮出願の全内容が本明細書に組み込まれ、そこに記載されているものとされる。

【0 0 0 2】

政府利益の記載

本発明は、陸軍省により与えられた政府支援 W9132V - 14 - C - 0002 を得て、なされたものである。政府は、本発明に対する一定の権利を有する。

40

【背景技術】

【0 0 0 3】

ニーモニックによりしばしば LIDAR と呼ばれる、光検知と測距のための光学測距は、高度測定から、撮像、衝突回避に至るまで、様々な適用に利用される。LIDAR は、無線波検知と測距 (RADAR) など、従来のマイクロ波測距システムに比べて、より小さいビームサイズを用いて、より細密な距離解像度を提供する。光学測距は、物体への光パルスの往復時間に基づく直接測距、送信されたチャーブ光信号と物体に散乱されて戻って来た信号の間の周波数の差に基づくチャーブ検知、自然信号から区別可能な單一周波数の位相変化のシーケンスに基づく位相符号化検知など、いくつかの異なる技術を用いて実

50

現可能である。

【0004】

許容可能な距離の確度と検知感度を達成するために、直接長距離測距LIDARシステムは、低パルス反復率と極めて高いパルスピーク電力を有する短いパルスのレーザを用いる。高パルス電力は、光学コンポーネントの急速な劣化につながり得る。チャープLIDARシステムと位相符号化LIDARシステムは、比較的低いピーク光出力を有する長い光パルスを用いる。この構成では、パルス幅ではなく、チャープ帯域幅または位相符号の長さとともに、距離確度が増加するので、いっそう優れた距離確度が達成可能である。

【0005】

光搬送波を変調するために広帯域無線周波数(RF)電気信号を用いて、有用な光チャープ帯域幅が実現された。最近のチャープLIDARの進歩としては、光検知器で戻って来た信号と組み合わされる基準信号と同じ変調光搬送波を用いて、基準信号と戻って来た信号の間の周波数または位相の差に比例する、比較的低いビート周波数を、生成電気信号に生じさせることなどがある。検知器における周波数の差の、この種のビート周波数検知は、ヘテロダイン検知と呼ばれる。これは、既成の安価な無線周波数コンポーネントを利用できることなど、この技術分野において既知の利点をいくつか有する。米国特許番号7,742,152に記載された最近の研究は、基準光信号として、送信光信号から分割された光信号を使用する、新規の、より単純な、光コンポーネント配置を示している。この配置は、この特許では、ホモダイン検知と呼ばれている。

【0006】

位相符号化マイクロ波信号で光搬送波を変調するLIDAR検知も、用いられている。この技術は、戻って来た信号の特定周波数の位相(または位相変化)のシーケンスと、送信信号のそれとの相関を用いる。相関におけるピークに関連する時間遅延が、媒質中の光の速度による測距に関連づけられる。この技術の利点は、必要なコンポーネントの数が少ないと、位相符号化マイクロ波および光通信のために開発された大量生産ハードウェアコンポーネントを使用できることなどである。

【発明の概要】

【0007】

本発明者は、従来の方法よりも短い時間で、目標とする空間解像度をもって物体を走査するためには、変化が望まれること、また、この目的の達成は、適応走査と呼ばれる、所望の物体に関連する角度範囲内に、光学測距システムによる走査を集中することによって可能になることに気づいた。走査レーザ測距システムによる自動またはリアルタイム適応走査の技術が提供される。

【0008】

第1の実施形態のセットにおいては、方法は、走査レーザ測距システムの視野内で目標最大距離での物体の距離測定のための目標空間解像度、および、システムに、目標最大距離での疎角度解像度を生成させる、システムのための疎角度解像度を決定することを含み、この疎空間解像度は目標空間解像度より大きいものである。この方法はまた、走査レーザ測距システムを動作させて、第1の次元の疎開始角と第1の次元の疎停止角の間の疎角解像度に基づく第1の次元の疎角解像度で、第1の次元における、および、第2の次元の疎開始角と第2の次元の疎停止角の間の疎角解像度に基づく第2の次元の疎角解像度で、第2の次元における、複数の疎距離測定値を得ることを含む。さらに、この方法は、疎距離測定値のうちの、第1の次元の整理された距離ゲートのサブセットを決定することを含み、距離ゲートサブセット中の各距離測定値は、サブセットの最小距離以上であり、かつサブセットの最大距離未満である。さらに、この方法は、距離ゲートサブセットに基づいてサブセットの最小距離とサブセットの最大距離の間の特徴的距離を自動的に決定することを含む。さらに、この方法は、特徴的距離と目標空間解像度に基づいて第1の次元の細密角解像度と第2の次元の細密角解像度を自動的に決定することを含む。さらに、第1の次元の細密角解像度が、第1の次元の疎角解像度より細密である場合、または、第2の次元の細密角解像度が、第2の次元の疎角解像度より細密である場合、この方法は、以下の

10

20

30

40

50

工程を含む。サブセットの第1の次元の角のBINサイズが、第1の次元の疎角解像度に基づいて自動的に決定される。任意の前の第1の次元のスライスからサブセットの第1の次元の角のBINサイズを延長する第1の次元のそれぞれのスライスにおける、第2の次元の最小角と第2の次元の最大角が、自動的に決定される。第2の次元の適応最小角と第2の次元の適応最大角のセットが、すべてのスライスの第2の次元の最小角と第2の次元の最大角を、第1の次元の細密角解像度まで拡張し、内挿補間することによって、自動的に決定される。適応走査特性がシステムに送信され、これは、走査レーザ測距システムに、第1の次元の各スライスについて、第1の次元の細密解像度で、および、第2の次元の最小角と第2の次元の最大角の間ににおける第2の次元の細密角解像度で、距離測定値を得させる、角解像度、第1の次元の開始角、第1の次元のBINサイズ、および第2の次元の適応最小角と第2の次元の適応最大角のセットを送信することを含む。

10

【0009】

第1の実施形態のセットのいくつかにおいて、走査レーザ測距システムの走査速度およびローカルオシレータ遅延時間が、自動的に決定され、そして、適応走査特性を送信する工程は、走査速度およびローカルオシレータ遅延時間を走査レーザ測距システムに送信することを、さらに含む。

【0010】

第2の実施形態のセットにおいて、非一時的コンピュータ可読媒体は、走査レーザ測距システムからの観測の第1の距離ゲートサブセットを示す第1のフィールド保持データを含み、観測のこのサブセットは、距離ゲートの最小距離から距離ゲートの最大距離までの間隔における距離を有し、そして、この媒体は、複数のレコードを含む。各レコードは、第1のレコードフィールドと第2のレコードフィールドを含む。第1のレコードフィールドは、サブセットのスライス内の第1の次元の角度を示し、サブセットのスライスは、スライスの第1の次元の最小角からスライスの第1の次元の最大角までの範囲における第1の次元の角度を有する。第2のレコードフィールドは、スライスにおける第2の次元の角度の極値を示すデータを保持し、ここで、極値は、値のセットの最大値、または値のセットの最小値である。レコードは、第1のレコードフィールドの内容の値による順番に従う。

20

【0011】

第3の実施形態のセットにおいて、走査レーザ測距システムを動作させる方法は、第1の距離測定値を取得するために、第1の基準経路遅延時間で走査レーザ測距システムを動作させることを含む。この方法は、第1の基準経路遅延時間が第1の距離測定のために有利であるか否かを決定することを含む。第1の基準経路遅延時間が第1の距離測定のために有利ではない場合、この方法は、さらに、第1の距離測定のために有利である、第2の基準経路遅延時間を決定し、その後、第2の距離測定値を取得するために、第2の基準経路遅延時間において、走査レーザ測距システムを動作させることを含む。

30

【0012】

その他の実施形態において、システムまたは装置またはコンピュータ可読媒体は、上述の方法の1つ以上の工程を実行するように構成される。

【0013】

40

さらに他の態様、特徴、および利点は、以下の詳細な記載から、単に、本発明の実施のために想定される最良の形態を含む、多数の特定の実施形態および実装を例示することにより、十分に明らかである。他の実施形態も、その他の異なる特徴および利点の能力を有し、そのいくつかの詳細は、様々な自明の点において、すべて、本発明の精神と範囲を逸脱することなく、修正可能である。したがって、図面および記述は、例示的性格のものであり、制限的とみなされてはならない。

【0014】

実施形態は、例示として示されるものであり、制限するものではなく、添付の図面において、同じ参照番号は同様の要素を示す。

【図面の簡単な説明】

50

【0015】

【図1A】実施形態による光チャーブ測距の例を示すグラフのセットを示す図である。

【図1B】実施形態にしたがって距離を示す、脱チャーブ化から生じるビート周波数の測定例を示す図である。

【図2A】様々な実施形態による高解像度LIDARシステムのコンポーネント例を示すブロック図である。

【図2B】様々な実施形態による高解像度LIDARシステムのコンポーネント例を示すブロック図である。

【図3A】実施形態による、走査レーザ測距システムにより走査される例示の場所を示す画像を示す図である。

【図3B】実施形態による適応的に走査される、図3Aの場所の水平方向部分の例示画像を示す図である。

【図3C】実施形態による、図3Bに明らかに示された形状のための、角空間におけるセットまたはエリアの例示を示すブロック図である。

【図3D】実施形態にしたがって、図3Dに描かれた形状を疎角走査する例を示すブロック図である。

【図3E】実施形態にしたがって、図3Dに描かれた形状に対する距離ゲート内の距離の一団の内の角走査空間における被走査距離の隣接エリアの例示を示すブロック図である。

【図4】実施形態による走査レーザ測距システムによる適応走査の方法の例示を示すフローチャートである。

【図5】実施形態による、俯瞰図および斜視図における、後方散乱信号戻りまでの距離の例示画像を示す図である。

【図6A】図6Aは、実施形態による、図5の斜視図における後方散乱信号戻りまでの距離のための距離ゲートの例示の画像を示す図である。図6B～Dは、実施形態による、Aに図示した4つの距離ゲートにおける、信号戻りの例を示す走査角空間におけるマスクを示す図である。

【図6B】図6Aは、実施形態による、図5の斜視図における後方散乱信号戻りまでの距離のための距離ゲートの例示の画像を示す図である。図6B～Dは、実施形態による、Aに図示した4つの距離ゲートにおける、信号戻りの例を示す走査角空間におけるマスクを示す図である。

【図6C】図6Aは、実施形態による、図5の斜視図における後方散乱信号戻りまでの距離のための距離ゲートの例示の画像を示す図である。図6B～Dは、実施形態による、Aに図示した4つの距離ゲートにおける、信号戻りの例を示す走査角空間におけるマスクを示す図である。

【図6D】図6Aは、実施形態による、図5の斜視図における後方散乱信号戻りまでの距離のための距離ゲートの例示の画像を示す図である。図6B～Dは、実施形態による、Aに図示した4つの距離ゲートにおける、信号戻りの例を示す走査角空間におけるマスクを示す図である。

【図6E】実施形態による、図6Aに図示した4つの距離ゲートにおける、信号戻りの例を示す走査角空間におけるマスクを示す図である。

【図7A】実施形態による、それぞれ、異なる特徴的範囲（または、異なる目標空間解像度）のための、図6Eに描いた距離ゲートの一部における、複数の隣接する水平スライスにおける適応走査パターン例を示すグラフである。

【図7B】実施形態による、それぞれ、異なる特徴的範囲（または、異なる目標空間解像度）のための、図6Eに描いた距離ゲートの一部における、複数の隣接する水平スライスにおける適応走査パターン例を示すグラフである。

【図8】本発明の実施形態を実装し得るコンピュータシステムの例示のブロック図である。

【図9】本発明の実施形態を実装し得るチップセットの例示のブロック図である。

【図10】実施形態による、場所の疎角走査における距離のヒストグラムの例示のグラフ

10

20

30

40

50

である。

【図11A】実施形態による、場所の疎角走査のデータ構造を例示するブロック図である。

【図11B】実施形態による、複数の水平角度BINのための適応最大垂直角と適応最小垂直角を例示するブロック図である。

【図12】実施形態による、距離ゲートのための、最大垂直角の水平角従属および最小垂直角の水平角従属を例示するグラフである。

【図13A】実施形態による、図6Cに図示した1つの距離ゲートについて、それぞれ非拡張（緊密）と拡張の、最大と最小の垂直角を例示する、走査角度におけるマスクを示す図である。
10

【図13B】実施形態による、図6Cに図示した1つの距離ゲートについて、それぞれ非拡張（緊密）と拡張の、最大と最小の垂直角を例示する、走査角度におけるマスクを示す図である。

【図14】実施形態による、準リアルタイムの適応角走査を自動的に決定する方法を例示するフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0016】

レーザ測距システムによる適応走査のための方法、装置、システム、およびコンピュータ可読媒体を説明する。以下の記載においては、説明のために、本発明の完全な理解を可能にするために、多数の具体的詳細を記述する。ただし、本発明はそれらの具体的詳細なしでも実行可能であることは、当業者には明らかであろう。その他の例では、本発明を必要にあいまいにすることを避けるために、周知の構造およびデバイスをブロック図に示す。
20

【0017】

広い適用範囲を表す距離およびパラメータの数値は近似であるけれども、具体的な非制限的例示に示す数値は、可能な限り、正確に報告する。ただし、数値は、本質的に、本明細書作成時の、それぞれの試験測定値に見られる標準偏差に由来する誤差を必然的に含む。さらに、文脈から明らかな場合を除き、本明細書に示される数値は、最下位桁が精度を示すものとする。したがって、値1.1は、1.05と1.15の間の値を表す。「約」という語は、所与の値を中心とする広い範囲を示すために用いられ、文脈から明らかな場合を除き、最下位桁を中心とする広い範囲を表し、例えば、「約1.1」は、1.0から1.2までの範囲を意味する。最下位桁が明確でない場合は、「約」という語は、係数2を意味するものとし、例えば、「約X」は、0.5X～2Xの範囲の値を表し、また、例えば、約100は、50～200の範囲の値を表す。さらに、本明細書に開示された範囲はすべて、そこに含まれる任意の、およびすべてのサブレンジを包含するものと理解されなければならない。例えば、「10未満」の範囲は、最小値0と最大値10の間（両端を含む）、すなわち、0以上の最小値かつ10以下の最大値を有する、任意の、およびすべてのサブレンジ、例えば、1～4を、含むことができる。
30

【0018】

本発明のいくつかの実施形態は、線形周波数変調光信号に関連して、下述のように記述されるが、周波数変調光信号を用いなくてもよい。また別の実施形態では、振幅パルス化または位相符号化光信号が用いられる。実施形態は、限定された水平角スイープに対する静止レーザ走査に関連して記述される。また別の実施形態では、全360度の水平角スイープを含む、狭い、または広い、水平角スイープを用いる、可動レーザ測距システムが使用される。多くの実施形態は、垂直方向のこぎり歯状走査軌跡に関して記述される。一方、別の実施形態では、垂直列順走査軌跡あるいは水平行順走査軌跡、またはそれらの組み合わせが用いられる。例えば、水平方向の運動（遅い）のための回転ステージと垂直方向（速い）のためのガルバノ走査ミラーを備えるハードウェア構成を有する実施形態では、垂直方向のこぎり歯状投影が用いられた。また別の実施形態は、2軸高速ステアリングミラー（2つの次元での高速走査、限定視野）または2軸パン・チルトユニット（2つの
40

次元での低速運動、広大視野)、または組み合わせを用いる。

【0019】

1. チャープ検知の概要

図1Aは、実施形態による光学チャープ距離測定を例示するグラフのセット110、120、130、140である。水平軸112は、4つのグラフのすべてに共通であり、ミリ秒(m s、 $1 \text{ m s} = 10^{-3} \text{ s}$)程度の任意の単位の時間を示す。グラフ110は、送信光信号として使用される光ビームの出力を示す。グラフ110の垂直軸114は、任意の単位での送信信号電力を示す。トレース116は、時刻0に開始する限定的なパルス時間幅の間、電力がオンであることを示す。グラフ120は、送信信号の周波数を示す。垂直軸124は、任意の単位での送信周波数を示す。トレース126は、パルスの周波数が、パルスの時間幅を通じて、 f_1 から f_2 へ増加し、したがって、帯域幅 $B = f_2 - f_1$ を有することを示す。周波数変化率は、 $(f_2 - f_1) / t$ である。
10

【0020】

戻り信号は、時間を示す水平軸112と、グラフ120と同じように、周波数を示す垂直軸124を有する、グラフ130に描かれている。グラフ120のチャープ126も、グラフ130に、点線としてプロットされている。第1の戻り信号は、トレース136aによって示されており、送信基準信号が強度(図示せず)において減衰し、 t だけ遅延したものと同じである。戻り信号が、標的までの距離をRとして、外部の物体から2Rの距離を進行した後、受信されると、この戻り信号は、 $2R/c$ によって与えられる遅延時間 t の時に開始し、ここで、cは媒質中の光の速度(約 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$)である。この時間を通じて、周波数は、距離に従属し、周波数の変化率に遅延時間を乗じることに得られる量 f_R だけ変化している。これは、式1aによって与えられる。
20

$$f_R = (f_2 - f_1) / t * 2R/c = 2BR/c \quad (1a)$$

値 f_R は、脱チャープ化と呼称される時間領域混合演算において、送信信号126と戻り信号136aの周波数の差によって測定される。したがって、距離Rは、式1bによって与えられる。

$$R = f_R c / 2B \quad (1b)$$

当然、パルスが完全に送信された後に戻り信号が到着した場合、すなわち、 $2R/c$ がより大きい場合、式1aと1bは有効ではない。この場合、ローカルオシレータ(LO)とも呼ばれる基準信号は、戻り信号が基準信号と重なり合うように、既知の量または固定量、遅延される。式1bから計算される距離に加えられる追加距離を得るために、基準信号のこの固定または既知の遅延時間 t_{LO} に光の速度cが乗算される。絶対距離は、媒質中の光の速度が不確実であるので、得られないかもしれないが、これは、ほぼ一定の誤差であり、周波数の差に基づく相対距離は、なお、非常に精度が高い。
30

【0021】

いくつかの状況においては、送信光ビームによって照明された地点においては、半透明物体の前部と後部、またはLIDARからの距離が異なる、物体の近い部分と遠い部分、または照明された地点内の2つの別個の物体など、異なる距離で2つ以上の異なる散乱体に遭遇する。そのような状況では、グラフ130のトレース136bに示す、第2の減衰強度および異なる遅延の信号も受信される。これは、式1bを用いて異なる距離を与える、異なる測定値 f_R を得ることになる。いくつかの状況では、複数の戻り信号が受信される。
40

【0022】

グラフ140は、第1の戻り信号136aと基準チャープ126の間の差周波数 f_R を描いたものである。水平軸112は、図1Aの他のすべての並ぶグラフと同様の時間を示し、垂直軸134は、大きく拡大した目盛りでの周波数差を示す。トレース146は、送信すなわち基準のチャープ中に測定された定周波数 f_R を描いたものであり、これは、式1bによって与えられる特定の距離を示す。第2の戻り信号136bは、これが現れた場合、脱チャープ化中に、異なる、より大きな値の f_R (図示せず)を引き起こし、その結果、式1bを用いると、より大きな距離が生成される。
50

【0023】

脱チャーブ化の一般的な方法は、基準光信号と戻って来た光信号の両方を同じ光検知器に誘導することである。検知器の電気出力は、検知器に集まる2つの信号の周波数、位相、および振幅の差に等しいか、またはその他の形で従属する、ビート周波数に支配される。この電気的出力のフーリエ変換は、ビート周波数でのピークを生成する。このビート周波数は、光の周波数レンジであるテラヘルツ (THz、 $1\text{ THz} = 10^{12}\text{ ヘルツ}$) ではなく、無線周波数レンジであるメガヘルツ (MHz、 $1\text{ MHz} = 10^6\text{ ヘルツ} = 10^6\text{ サイクル/秒}$) である。このような信号は、マイクロプロセッサあるいは特別製のFFT、またはその他のデジタル信号処理 (DSP) 集積回路上で実行される高速フーリエ変換 (FFT) アルゴリズムなど、一般的な安価なRFコンポーネントによって容易に処理可能である。別の実施形態においては、戻り信号は、(ローカルオシレータとしてのチャーブとの対比において)ローカルオシレータとして機能する連続波 (CW) トーンと混合される。この結果、それ自身チャーブである(または、何であれ、送信された波長である)信号が検知される。この場合、検知された信号は、Kachellmyer 1990に記載されたように、デジタル領域において整合フィルタリングを経る。これの欠点は、デジタルの帯域幅要件が一般に高くなることである。コヒーレント検波の積極面は、別の意味で維持される。10

【0024】

図1Bは、実施形態による、脱チャーブ化から生じるビート周波数の測定値の例示のグラフであり、距離を示す。水平軸152は、メガヘルツ単位の周波数を示し、垂直軸は、送信電力密度 I_T に対する戻り信号の電力密度 I_R をデシベル (dB、dB単位の電力 = $20 \log(I_R / I_T)$) 単位で示す。トレース156は、例えば、FFT回路によって生成されるような、光検知器による電気信号出力のフーリエ変換であり、プロットされたデータは、Adany et al., 2009が発表したデータに基づく。ピークの垂直位置は、式1bを用いると、距離を示す f_R を与える。さらに、ピークの他の特性を用いて、戻り信号を記述することができる。例えば、ピークにおける電力値は、トレース156の最大値によって、さらに通例においては、ピーク値(図1Bにおいては、約-31dB)とピークの肩部におけるノイズフロア(図1Bにおいては、約-50dB)の差157(図1Bにおいては、約19dB)によって特徴づけられ、ピークの幅は、最大値の半分における周波数幅158(図1Bにおいては、約0.08MHz)(FWHM)によって特徴づけられる。複数の識別可能な戻り信号がある場合、光検知器のFFTにおいて、複数の異なる電力レベルと幅を有する、複数のピークが存在することになる。トレースにおいて自動的にピークを発見し、位置、高さ、および幅によってそれらを特徴づける任意の方法を用いることができる。例えば、いくつかの実施形態では、Natick,20

Massachusetts所在のMATHTWORKS(商標)のMATLAB(商標)から入手できる、MATLAB-Signal Processing ToolboxによるFTTWまたはピーク検知が使用される。また、Santa Clara, California所在のNVIDIA(商標)から入手できる、CUDAのFTTWおよびCUDA(商標)のカスタムピーク検知によるカスタム実装を使用することもできる。カスタム実装は、フィールドプログラマブル・ゲートアレイ(FPGA)にプログラムされている。一般的に用いられるアルゴリズムは、距離プロファイルに閾値を設け、質量中心アルゴリズム、ピーク適合アルゴリズム(3点ガウス関数一致)、またはいくつかの関数(ガウス関数などの)についてピークの非線形一致を実行して、ピークの位置をより精度高く決定することである。30

【0025】

新たな独立の測定が、可動LIDARシステムの、異なる角度または平行移動位置において、休止 t_i の後の別のパルスを使用して行われ、したがって、パルスレート(PR)は、式1/($+ t_i$)によって与えられる。フレームは、距離の2次元画像であり、そこにおいては、画像の各画素は、送信ビームによって見られた物体の別の部分までの距離を示す。1000個の水平角度かける1000個の垂直角度の各々において、送信信号か40

ら組み立てられたフレームについて、各フレームは、 10^6 個の画素を含み、フレームレート(FR)は、パルスレートの 10^{-6} 倍、例えば、 $10^{-6} / (+ t_i)$ である。

【0026】

2. チャープ検知ハードウェアの概要

測距方式がどのように実装されるかを描くために、いくつかの一般的なハードウェア方式を説明する。図2Aと図2Bは、様々な実施形態による高解像度LIDARシステムのコンポーネントを例示したブロック図である。図2Aでは、レーザ源212が、搬送波201を発射し、これが、変調器214において、RF波形発生器215からの入力に基づいて、振幅変調、周波数変調、位相変調、またはそれらの組み合わせによって変調されて、帯域幅Bと時間幅 を有するパルスを含む光信号203が生成される。いくつかの実施形態では、RF波形生成器215は、処理システム250からのコマンドでソフトウェア制御される。スプリッタ216は、変調された信号205を、光信号203のエネルギーのほとんどを有する送信信号205と、それよりはるかに小さいエネルギー量であるが、それでも、標的(図示せず)によって散乱された戻り信号への有効なヘテロダインまたはホモダイン干渉を生成するには十分なエネルギー量を有する基準信号207に分割する。いくつかの実施形態では、送信ビームは複数角度にわたって走査し、走査光学装置218を用いて、その経路内にある物体の輪郭を得る。基準信号は、散乱光とともに検知器アレイ230に到達するように、基準経路220において十分に遅延される。いくつかの実施形態では、スプリッタ216は、変調器214の上流側にあり、基準ビーム207は変調されない。いくつかの実施形態では、基準信号は、新たなレーザ(図示せず)を用いて、独立に生成され、基準経路にある別の変調器(図示せず)と生成器215からのRF波形を用いて、別に変調される。いくつかの実施形態では、図2Bを参照して下に述べるように、単一のレーザ源212からの出力は、基準経路220において、独立に変調される。柔軟性の小さいものから、大きなものまで、様々な実施形態において、1) 経路長が十分に一致するように送信ビームの一部が反射されて検知器アレイに戻ってくるように、対象場所にミラーを置くこと、2) 図2Aに示すように、特定の距離について観測または予想される位相差を補償するための経路長調整の有無にかかわらず、検知器アレイ近傍の光学装置により、経路長をほぼ一致させて、基準ビームをプロードキャストするために、ファイバ遅延を利用すること、または、3) 図2Bを参照して下に詳しく述べるように、経路長の不一致を補償するために別の変調を生成するために、周波数偏移デバイス(音響-光学変調器)またはローカルオシレータ波形変調の時間遅延を用いること、または、それらの組み合わせによって、基準信号は、散乱フィールドまたは反射フィールドとともに到着させられる。いくつかの実施形態では、戻り信号が、遅延なしに、基準信号と十分に重なり合うように、標的が十分近く、パルス時間幅が十分長い。いくつかの実施形態では、基準信号207bは、1つ以上の光混合器232において、戻り信号291と光混合される。様々な実施形態において、標的の複数の部分が、各走査ビームについて、それぞれの戻り光291信号を散乱して検知器アレイ230に戻し、それにより、複数のビームおよび複数の戻り光によって、照明された標的の複数部分のそれぞれの距離に基づいて、点クラウドが生成される。

【0027】

検知器アレイ230は、単一の、あるいは平衡対の光検知器、または標的からの戻りビーム291に対しておおむね垂直な平面内に配置される、そのような光検知器の1Dまたは2Dアレイである。インタフェースパターンの位相あるいは振幅、またはそれらの組み合わせが、パルス時間幅 の間、複数の時点で、各検知器について、取得システム240に記録される。パルス時間幅当たりの時間的標本の数は、ダウンレンジ範囲に影響する。この数は、しばしば、パルス反復率および利用可能なカメラのフレームレートに基づいて選択される実際的な考慮事項である。フレームレートは、標本化帯域幅であり、しばしば、「デジタイザ周波数」と呼ばれる。基本的に、Yレンジ幅の解像度ピンで、パルス時間幅の間に、X個の検知器アレイフレームが採取される場合、X * Yのレンジ範囲が観測可能である。取得されたデータは、図8を参照して下に述べるコンピュータシステム、また

10

20

30

40

50

は図9を参照して下に述べるチップセットなどの、処理システム250が使用できるよう にされる。いくつかの実施形態では、取得されたデータは、標的の複数部分の複数距離に基づく点クラウドである。

【0028】

適応走査モジュール270は、下にさらに詳細に述べるように、走査の対象とされる特定場所について走査光学装置による非均一走査が望ましいか否かを決定する。例えば、適応走査モジュール270は、対象場所の異なる部分について、フレームを構築するための価値のあるパルス、例えば、数秒間に送信される数百万のビームが、走査される物体からの戻り信号が存在する方向に集中され、対象とされない空や近傍の地面が存在する方向が避けられるように、どのような走査角度と解像度が用いられるべきかを決定する。いくつかの実施形態では、適応走査モジュール270は、RF波形生成器215を制御する。10

【0029】

図2Bは、ソフトウェアにより制御される遅延が、ローカルオシレータ(LO)信号とも呼ばれる基準信号を生成する基準経路に導入されることを可能にする代替的ハードウェア配置を描いている。レーザ源212、スプリッタ216、送信信号205、走査光学装置218、光混合器232、検知器アレイ230、取得システム240、および処理システム250は、図2Aを参照して、上に述べたものと同様である。図2Bには、生成器215からのRF波形を光搬送波に乗せる、2つの別個の変調器、すなわち、送信経路の214aと基準経路の214bがある。スプリッタ216は、レーザ源212と、変調器214aおよび214bの間を移動して、変調器214aに当たる光信号283と、修正基準経路282において変調器214bに当たる、低い振幅の基準経路信号287aを生成する。この実施形態では、光201は、変調が行われる前に、送信経路(TX)経路ビーム283と、基準/ローカルオシレータ(LO)経路ビーム287aに分割され、各経路には、別個の変調器が使用される。デュアル変調器方式で、いずれの経路も、オフセット開始周波数および/またはオフセット開始時間のチャープをプログラム可能である。これは、ダウンレンジ次元において適応する適応走査方式を可能にするために用いられる。各距離ゲートにおいて用いられる遅延を変化させることにより、このシステムは、他のシステム制限(検知器およびデジタイザの帯域幅、測定時間等)にもかかわらず、高解像度で、明確な測定が可能である。したがって、いくつかの実施形態では、修正適応走査モジュール278が、下に述べる適応走査によって生成される各距離ゲートのために適切な遅延時間を課すように、RF波形生成器を制御する。そこで、ソフトウェアにより制御される遅延基準信号287bは、上に述べたように、戻り信号と混合される。他の実施形態では、ソフトウェアにより制御されるLO基準経路282の遅延はまた、システム280が、チャードップラ補償のために距離遅延効果を蓄積することを可能にする。2030

【0030】

例えば、いくつかのチャープの実施形態では、使用されたレーザは、レーザを駆動する電流に適用する変調によって、能動的に線形化された。電気-光変調器が変調を提供する実験も行われた。このシステムは、様々な実施形態のために、下にさらに詳しく述べるように、所望のダウンレンジ解像度のために好適な、帯域幅Bと時間幅のチャープを生成するように構成される。この技術は、チャープ帯域幅10MHz~5THzに適用される。しかし、3D撮像適用については、典型的なレンジは、チャープ帯域幅が約300MHz~約20GHz、チャープ時間幅が約250ナノ秒($n\text{s}$ 、 $n\text{s} = 10^{-9}\text{秒}$)~約1ミリ秒($m\text{s}$ 、 $1\text{m s} = 10^{-3}\text{秒}$)、標的までの距離が約0メートル~20キロメートル($k\text{m}$ 、 $1\text{k m} = 10^3\text{m}$)、標的におけるスポットサイズが約3ミリメートル(mm 、 $1\text{mm} = 10^{-3}\text{m}$)~1メートル(m)、標的における深度解像度が約7.5mm~0.5mである。いくつかの実施形態では、標的は、400メートル(m)など、最小距離を有する。これらの条件の下で、この距離ウィンドウは数キロメートルまで延ばすことができることも注目される。プロセス、設備、およびデータ構造が、図2Aおよび図2Bには、図示のために、特定の配置の統合ブロックとして描かれているが、別の実施形態においては、1つ以上のプロセスあるいはデータ構造、またはそれらの一部は、別のやり方4050

で、同じ、あるいは異なるホストに、1つ以上のデータベースに配置されるか、または排除されるか、または、1つ以上の異なるプロセスあるいはデータ構造は、同じ、あるいは異なるホストに含まれる。例えば、スプリッタ216と基準経路220は、0個以上の光カプラを含む。

【0031】

3. 適応走査の概要

図3Aは、実施形態による、走査レーザ測距システムで走査される場所の例示画像である。この画像は、約10センチメートル距離解像度（例えば、5～20cm）で最大約1キロメートル（例えば、0.5～2km）の距離のために構成された走査3Dレーザ測距システムの最大水平角および垂直角解像度を用いて生成された。図3Bは、実施形態による、適応走査される図3Aの場所の水平方向部分の例を示す画像である。この水平方向の次元は、相対単位での水平角を示し、垂直方向の次元は、静止LIDARシステムから見た、相対単位での垂直角を示す。戻り信号がない角度での測定を回避し、目標空間解像度を得るために、高い角解像度標本化が望ましい、遠い標的に対してのみ、そのような標本化を行い、目標空間解像度を与えるために、低い角解像度で十分な、近い物体に対しては低い角解像度標本化を用いることにより、所望の測距情報の収集を迅速にするために、適応走査が行われる。

10

【0032】

適応走査の利点を図3Cに図示する。図3Cは、実施形態による、図3Bに明らかに示された形状のための距離のセットの例を示すブロック図である。図3Cは、標本化角空間を表す。エリア310には、戻り信号がなく、角空間のこのエリアを走査はしないことが望ましい。エリア320には、システムの真直ぐ前方には、対象とはならない地面があるのみである（例えば、このエリアは、十分に知られているか、または、特に関心対象とはされない小さな形状である）。角空間のこのエリアも走査しないことが望ましい。遠方のドーム構造物が、角空間のエリア332を占め、このドームの前の構造物が角空間のエリア330を占め、それらの前の壁またはフェンスが角空間のエリア328を占め、より近い構造物および柱状物が角空間のエリア322を占めている。対象にはならないエリア320と、エリア330の構造物の間ににおいて、角空間でエリア321、323、325、および327と記された地面は、距離が大きくなっていくことが明らかである。目標空間解像度s、例えば10センチメートル、以上で、場所の形状を特定するためには、用いられる角解像度は、式2に与えられる、物体への距離Rの関数である。

20

$$= \arctan(s/R) \quad (2a)$$

比s/Rの値が小さい場合には、s/Rである。ほとんどの場合、sは、Rよりもはるかに小さいので、多くの実施形態において、処理を迅速にするために、近似値 = s/Rが用いられる。近距離Rnearから遠距離Rfarまでの距離間隔にあるすべての物体について、少なくとも目標空間解像度s、またはそれ以上を確かに達成するために、遠距離を式2に使用して、式2bを得る。

$$= \arctan(s/Rfar) \quad (2b)$$

小さい角の近似が有効である場合には、式2bの近似式2cを用いる。

$$= s/Rfar \quad (2c)$$

30

当然、任意の所与のレーザ測距システムは、個々の光ビームの最小角幅を有し、そのような角ビーム幅よりはるかに小さい角解像度は、実際には、定義できない。したがって、大きな距離では、目標空間解像度sは、達成不可能なこともある。以下の説明では、単純化のために、計算されたは必ずビーム角幅より大きいと仮定する。

40

【0033】

式2a～2cは、対象場所における様々な物体への距離が既知であることを意味する。様々な実施形態により、対象場所に関する距離は、初回通過の疎角解像度によって決定される。対象場所において、一方の次元に延びる距離は他方の次元における距離よりも大きい、または、装置が、一方の次元において、他方の次元と比較して、より大きな制御を有することが一般的であり、それゆえ、いくつかの実施形態では、疎の水平角解像度は、疎

50

の垂直角解像度とは異なる。図 3 D は、実施形態による、図 3 C に描かれた形状に対する疎角走査の例示のブロック図である。水平軸 3 4 2 は、水平角（方位角とも呼ばれる）を示し、垂直軸は、垂直角（仰角とも呼ばれる）を示す。垂直方向のこぎり歯状走査軌跡は、点線 3 4 6 によって示される。図示のために、走査光学装置が通る経路は左下から右上に延びると仮定される。走査軌跡 3 4 6 は、垂直方向のこぎり歯状パターンで、水平方向に A_{H R} として指示される反復離隔角 3 4 7 を有する。走査軌跡 3 4 6 は、走査 L I D A R 測距システムが実行し得る細密水平走査に比べて、走査が幅方向に間が空いている。さらに、疎の垂直標本化解像度で、経路 3 4 6 に沿って距離測定が行われる。したがって、走査軌跡 3 4 6 に沿った測定値は、目標フレームレートに比較して短時間に取得できる。水平解像度は、可変であるが、水平反復離隔 A_{H R} ごとに 2 つの標本を特徴とするので、平均水平解像度は A_{H R} / 2 である。他の実施形態では、走査において水平標本離隔と垂直標本離隔の両方とも一定である、行順または列順の走査軌跡が用いられる。そのような実施形態のいくつかにおいては、水平離隔と垂直離隔の両方とも、_____に設定される。
10

【0034】

疎走査の結果として、_____を水平方向（方位）走査角とし、_____を垂直方向（仰角）走査角とすると、疎最小水平角 min から疎最大水平角 max まで、かつ、疎最小垂直角 min から疎最大垂直角 max までの、すべての水平角について、多様な距離 R (,) を得ることができ、したがって、点クラウドが形成される。エリア 3 2 0 の距離は排除される。その他の距離は、距離ゲートと呼ばれる複数の距離間隔に分割され、各距離ゲートは、別の重なり合わない R_{near} と R_{far} によって与えられる別の重なり合わない間隔によって画定される。距離 R (,) は、N 個の距離ゲートのうちの、距離ゲート番号 n、すなわち、R_{Gn} という名称のセットの要素であり、式 3 を満たす。
20

$$R_{near_n} \leq R_{Gn} < R_{far_n} \quad (3)$$

値 R_{near_n} は、下のような命令を使用して、距離 R (,) とそれに関連する角座標 (,) を 1 つの距離ゲートのセットに割り当てるためのゲートとして用いることができる。

```
For      = min    to    max ,      = min    to    max
N = 0
for i = 1 to N, if R( , ) Rnear_i, then n
= i
add R( , ) to set RGn
```

そこで、距離ゲートのセットにおけるすべての各座標 (,) からなる角空間の各部分は、距離ゲートのうちの 1 つに関連づけることができる。角範囲ゲートに関連するエリアは、距離ゲートエリアと呼ばれる。図 3 E は、実施形態による、図 3 D に描かれた形状に対する距離ゲート内の距離の一団の内の、角走査空間における走査距離の隣接エリアの例を示すブロック図である。エリア 3 5 6 は、近傍の建物と柱状物のエリア 3 2 2 を含む R G 1 に割り当てられ、エリア 3 5 6 b は、R G 2 に割り当てられ、エリア 3 5 6 c は、壁構造物 3 2 8 を含む R G 3 に割り当てられ、エリア 3 5 6 d は、R G 4 に割り当てられ、エリア 3 5 6 e は、建物エリア 3 3 0 を含む R G 5 に割り当てられ、3 5 6 f は、ドーム構造物 3 3 2 を含む R G 6 に割り当てられる。
40

【0035】

様々な実施形態において、水平解像度あるいは垂直解像度、またはそれらの両方は、各距離ゲート n に関連する角空間エリアにおいて、R_{far} を R_{far_n} として、式 2 b または式 2 c を満たすように調整される。いくつかの実施形態では、各距離ゲートエリアは、疎標本化に基づいて、各水平角についての最小垂直角と各水平角についての最大垂直角によって輪郭が定まる。最小垂直角と最大垂直角は、各々、目標角間隔 (R_{far} を R_{far_n} として、式 2 b によって与えられる間隔) に合わせて内挿補間される。そして、各距離ゲートエリアは、R_{far} を R_{far_n} とした式 2 b によって与えられる水平角解像度と垂直角解像度を用いて、のこぎり歯状走査パターン（または、その他の走査パターン）で、それぞれ別に走査される。走査パターンは、走査軌跡とも呼ばれる。
50

【0036】

図4は、実施形態による、走査レーザ測距システムによる適応走査の例示の方法を示すフローチャートである。図4とその後のフローチャート図14に、工程は、図示のために、特定の順序の統合的工程として描かれているが、他の実施形態においては、1つ以上の工程、またはその一部が、異なる順序で、または時間的に重なり合うか、順次か、あるいは並行して、実行されるか、または、排除され、または、1つ以上の追加工程が追加され、または、いくつかの組み合わせ方で、方法が変更される。

【0037】

工程401では、目標空間解像度 s が決定される。任意の方法を用いることができる。これは、ユーザが手入力することもでき、コンピュータ可読媒体上の格納から引き出すこともでき、ローカルまたは遠隔のデータベースまたはサーバから、要求せずに、または問い合わせを行って、受信することもできる。いくつかの実施形態では、対象の物体のサイズ範囲 O が入力され、目標空間解像度 s が、例えば、指示された物体サイズ O の $1 / 100$ または $1 / 1000$ などの、所定の、または指定の、1未満の値に基づいて決定される。いくつかの実施形態では、工程401において、上述の1つ以上的方法を用いて、そのような物体を検知するための最大距離 R_{max} も決定される。いくつかの実施形態では、上述の方法のいずれかを用いて、疎角解像度も与えられる。いくつかの実施形態では、疎角解像度は、1つ以上の他の入力に基づいて決定される。例えば、所望の目標空間解像度が s であり、指定の最大距離が R_{max} である場合、最も細密な角解像度 $best$ は、式2において R を R_{max} に置き換えることによって得られる。この場合、疎角解像度は、この最も細密な角解像度 $best$ の倍数である。フレームレートに比べて小さい時間量で、この疎走査を完了するためには、倍数の大きさは、例えば、最も細密な解像度の約 $10 \sim 100$ 倍である（高解像度フレームの $1 / 100 \sim 1 / 10,000$ で、疎フレームを完了する）。指定される空間解像度は、適用に依存する（測量は、例えば、3D形状検知とは異なる要件を含むかもしれない）。様々な実験的実施形態において、標的の空間解像度は、約 1 cm 以上であり、これに対して、実験的撮像装置にとって、やや大きめの最終的解像度とみなされるのが、標的にして 10 cm である。疎走査解像度のために用いられる倍数は、細密な標的解像度の約 $10 \sim$ 約 25 倍である。そして、疎走査は、総走査時間に1未満の値を乗じたものであり、適応走査パターンの生成のために有用な情報を与える。

【0038】

工程403では、対象場所の一般的な3D特徴を得るために、ただし、所望の最終的走査角解像度よりも、はるかに疎な空間標本化によって、疎解像度撮像走査が実行される。この疎走査の結果は、疎3次元（3D）点クラウドであり、このクラウドの各点は、レーザ光後方散乱面の照明されたスポットの3D座標内の位置を示す。3D座標は、測距システムからの、方位角、仰角、および距離 R などの極座標、または、水平方向 x （例として、例えば、基準点または測距システムの位置からの北方向の距離）、水平方向 y （例として、基準点からの東方向距離）、および z （例えば、水平面からの高さ）などの直交座標とすることができます。

【0039】

工程405では、疎の点クラウドは、例えば上述の式3を用いる距離座標と、式3のすぐ後に続く疑似コードに従う、距離ゲートにさらに分割される。この小分割は、 R_{near_n} の N 個の固定値でハードコードするか、または、 R_{near_n} のための $1 \sim N$ 個の計算値に基づく適応型とすることができます。例えば、いくつかの実施形態では、5パーセンタイル距離と99パーセンタイル距離、それぞれ、 R_5 と R_{99} が、疎3D点クラウドにおける距離分布から決定され、距離ゲートの数 N が、99パーセンタイル距離と5パーセンタイル距離の差と対象の物体のサイズから決定される（例えば、 $N = moduls(R_{99} - R_5, M * O)$ ）、ここで、 O は、対象の物体のサイズであり、 M は、 $M = 4$ など、1より大きい倍数である）。この適応型の例では、 N 個の距離ゲートは、 R_5 と R_{99} の間に均等に分布する。いくつかの実施形態では、工程405は、距離ゲートを決定す

10

20

30

40

50

る前に、取得した疎の点クラウドデータの直交座標表示を、L I D A R 測距システムに対する球面座標に変換することを含む。他の実施形態では、N個の距離ゲートの決定は、点密度を距離の関数とする基本的データ分析によって行われた。例示の適応データ分析は、距離ゲートを、最小数の点が存在する密度分布の距離に距離ゲートを配置した。これは、距離ゲートの「継ぎ目」を、システムから見える物体の密度が最小限である所に位置させるために行われた。

【0040】

工程411では、各距離ゲートの点のセットR G nについて、改良された対象場所の標本化のために、適応走査軌跡が決定される。セットR G n内の各物体が、確実に、目標空間解像度s、またはその付近で、解像されるように、式2bまたは式2cで、R f a rの代わりに、距離ゲートにおける特徴的距離を用いて、垂直および水平走査特性のための角解像度を決定する。例えば、距離ゲート内の各物体が、確実に、少なくとも、目標空間解像度sで、標本化されるように、特徴距離は、R f a r_nであり、式2bまたは式2cが用いられる。いくつかの実施形態では、のこぎり歯状パターンの水平反復離隔角度A_{H R}は、角解像度 に合わせて設定され、したがって、最も悪い水平解像度は であり、平均水平解像度は、 /2でも、より良い。いくつかの実施形態では、平均水平解像度sが許容範囲である場合、平均水平解像度が になるので、A_{H R}は2 に設定される。しかし、他の実施形態では、R n e a r_nとR f a r_nの間にあるものと定義される中距離R m i d_nなど、他の特徴距離が用いられる。したがって、角空間内の距離ゲートエリアにおけるすべての水平角において最小垂直角と最大垂直角の間に、適応走査軌跡が決定される。

【0041】

いくつかの実施形態では、ローカルオシレータの遅延時間 t_{L o n}は、n番目の距離ゲートR G nの距離ゲート距離R G R nを用いて、距離ゲートnの各距離ゲート標本化軌跡について、決定され、例えば、R G R nは、R n e a r_n、または、式4にしたがって、上に定義した特徴距離に等しいか、またはその関数である。

$$t_{L o n} = R G R n / c \quad (4)$$

【0042】

いくつかの実施形態では、特徴距離は、観測に基づいて適応的に決定される。例えば、遠距離R f a r_n、または中距離R m i d_nは、現れることはまれかもしれない、また、別の距離の方が、はるかに現れる可能性が高いか、またははるかにありふれているかもしれない。したがって、いくつかの実施形態では、特徴距離は、距離ゲートセットR G nにおいて観測された疎標本距離の平均距離R m e a n_n、二乗平均平方根距離R r m s_n、中央値距離R m e d_n、またはモード(ピーク)距離R p e a k_nとして決定される。そして、選択された特徴距離は、角解像度 、および、各空間における距離ゲートエリアのすべての水平角について、最小垂直角と最大垂直角の間の適応走査軌跡を決定するために、式2aにおいて距離Rとして、または、式2cにおいてR f a rの代わりに、用いられる。

【0043】

いくつかの実施形態では、基準経路遅延時間 t_{L o}は、距離ゲート設定なしでも、走査パターンにおいて、パルスごとに修正される。これは、次のパルスまたは近傍のパルスが、現パルスから決定された距離であるか、またはそれに近い可能性が高いとの仮定の下では利点がある。例えば、いくつかの実施形態では、走査レーザ測距システムは、第1の距離測定値を得るために、第1の基準経路遅延時間で、動作する。第1の基準経路遅延時間が第1の距離測定のために有益であるか否かが決定される。第1の基準経路遅延時間が、第1の距離測定のために有益ではない場合、第1の距離測定のために有益な第2の基準経路遅延時間が決定される。そして、走査レーザ測距システムは、少なくともその次の1つのパルスに対しては、第2の基準経路遅延時間で動作して、第2の距離測定値を得る。

【0044】

いくつかの実施形態では、工程411の間に、レーザ測距システムのためのパルス時間

10

20

30

40

50

幅と間隔周期 t_i も、最小フレームレートが維持されるように決定される。そのような実施形態では、目標フレームレート、例えば、毎秒 4 フレームが、設定され、目標空間解像度のために必要な、すべての距離ゲートの軌跡における距離測定値の数が、距離測定当たりの時間を決定する。そして、この測定当たりの時間は、パルス時間幅とパルス間の間隔 t_i の合計を決定する。次に、このパルス時間幅は、光検知器において戻り信号を脱チャーブ化するために、基準経路に有益に適用される遅延時間を決定する。

【0045】

工程 421 では、各距離ゲートに対応する各適応走査パターンに基づいて、走査光学装置に対するコマンドが、測距システム、またはシステム内の走査光学装置に、転送され、走査レーザ測距システムを動作させて、適応水平角解像度および適応垂直解像度で、適応走査軌跡に沿って、距離測定値を得る。いくつかの実施形態では、工程 421 は、現距離ゲート、または、N 個の異なる距離ゲートのうちのさらなる距離ゲートのための、式 4 による遅延時間を示すデータを送信することを含む。それらの実施形態のうちのいくつかでは、測距システムは、図 2B の RF 波形生成器 215a と変調器 214b を用いて、レーザ光を変調して、計算された遅延時間 t_{loop} を課す。

10

【0046】

工程 431 では、角空間における距離ゲートエリアのすべてについて、順次適応走査を用いて、結果として取得した点クラウドの点のセットは、すべての被走査物体について、目標空間解像度 s を保存する 1 つ以上の点クラウドの集まりである最終的 3D データ生産物を構成するように、組み合わされる。同時に、適応走査は、戻り信号がない所、あるいは測距システムに近すぎる所、またはそれらが組み合わさった所については、角空間の走査を回避する。工程 441 では、3D データ生産物に基づいて、デバイスが動作する。いくつかの実施形態では、これは、3D データ生産物を示す画像を表示デバイスに提示することを含む。いくつかの実施形態では、これは、3D データ生産物の点クラウドに基づいて、少なくとも 1 つの物体を認識するデータを、デバイスに送信することを含む。いくつかの実施形態では、これは、認識された物体に接近するように、あるいは、それとの衝突を回避するように、車両を動かすこと、または、兵器システムを動作させて、認識された物体に、兵器を誘導することを含む。

20

【0047】

いくつかの実施形態では、工程 403 ~ 431 は、下にいくつかの例示の実施形態について述べるように、個別に、または集合的に、自動的に、かつ、リアルタイムまたは準リアルタイムで、実行される。この説明においては、リアルタイムは、3D 点クラウドをキャプチャするために用いられる 3D スキヤナ（例えば、LIDAR）のフレームレートに基づく。このフレームレートの逆数は、3D スキヤナが 3D 点クラウドをキャプチャするキャプチャ時間周期である。いくつかの実施形態では、リアルタイムは、キャプチャ時間周期内の期間と定義される。いくつかの例示の実施形態では、フレームレートは、毎秒約 4 ~ 約 10 フレーム (fps) の範囲にあり、0.1 ~ 0.25 秒 (s) のキャプチャ時間周期に対応する。この種の時間周期は、戦術的適用および衝突回避の適用のために有益である。準リアルタイムは、リアルタイムの約 10 倍以内、例えば、上述の例示のキャプチャ時間周期に対しては約 2.5 秒以内である。

30

【0048】

4. 例示実施形態

周波数変調連続波 (FMCW) チャーブ LIDAR 測距システムでは、距離ウィンドウは、チャーブ帯域幅、デジタイザ帯域幅、およびパルス反復周波数 (PRF) によって規定される。したがって、基本的 FMCW システムは、より大きな PRF および帯域幅については、距離に限界がある。この限界は、長距離で迅速に距離データを取得するシステムの能力を制限する。この制限は、ソフトウェアプログラム可能な距離遅延に影響するよう、LO およびチャーブ波形の送信器 / 戻り信号経路に、別々の変調器（例えば、図 2B を参照して、上に述べたように、基準経路 282 において、RF 波形生成器 215、および、別個の変調器 214b を用いる）を考慮することによって、克服された。LO 波形の

40

50

時間遅延は、所与の距離遅延のための測距周波数帯域幅Bが低減されて、検知器／デジタルシステムの帯域に入ることを可能にする。このコンセプトは、非ゼロ距離遅延で、距離ウィンドウ内の迅速な距離データ取得を可能にする。これは、適応走査アルゴリズムと組み合わされて、例えば、それぞれの異なる距離ゲートの走査軌跡のための異なる基準経路遅延を用いて、対象のボリュームの量のデータを、いっそう迅速に取得することができる。

【0049】

適応角走査手順は、調査対象のボリュームの角境界に適合する走査を（ビーム走査ハードウェアの能力の範囲内で）生成するように設計される。これは、システムが、「空を走査したり」、「地面を走査したり」することを防ぐ。走査パターンは、ボリュームの疎な非適応走査を考慮することにより、構築される。これは、問題の距離ウィンドウ内の実際のハード標的の境界を画定するために用いられる。この方式の速度と効用を実証するために、調査ソフトウェアが実装された。

【0050】

図5は、実施形態による、俯瞰図および斜視図における後方散乱戻り信号への距離の例示を示す画像である。図5Aの上部部分のグレー画素は、実験的実施形態において、走査レーザ測距システムによって、戻り信号が検知された所の、水平角と距離の俯瞰図501を描いている。この実験では、走査レーザ測距システムは、Bozeman, Montana所在のBLACKMORE SENSORS AND ANALYTICS（商標）IncのHRS-3D-AS型適応スキャナを備えた。距離ウィンドウは、3～96mであった。水平角範囲は、回転ステージで約370°をカバーし、垂直角範囲は、約60°である。距離解像度は、約7.5cmである。図5Aの下部部分のグレー画素は、同じ実験で、走査レーザ測距システムによって戻り信号が検知された、距離、仰角、および水平位置の斜視図511を描いている。両方の図で、走査レーザ測距システムの位置503は、画像の左端である。走査レーザ測距システムの位置503の近くに、戻り信号505が、いくつかの実施形態のために望まれるよりもいっそう高い、高空間密度を与え、したがって、対応する目標空間解像度sよりも細密な解像度を与えている。走査レーザ測距システムの位置503から遠く離れると、戻り信号507は、所望の空間密度よりも低い、低空間密度を与え、したがって、いくつかの実施形態のための、対応する目標空間解像度sよりも疎になる。

【0051】

図6Aは、実施形態による、図5の斜視図における後方散乱信号戻りの距離のための距離ゲートの例示画像である。グレー画素は、図5Aの下部部分のものと同じ実験において、走査レーザ測距システムによって戻り信号が検知された所の、距離、仰角、および水平位置の斜視図511を描いている。距離は、4つの距離ゲートに分割され、例えば、N=4で、それらは、距離ゲート1, 521、距離ゲート2, 522、距離ゲート3, 523、および距離ゲート4, 524である。

【0052】

図6B～図6Eは、実施形態による、図6Aに図示された4つの距離ゲートの各々における戻り信号の位置を例示する走査角空間におけるマスクである。角空間の黒いエリアは、第一の距離ゲートにおける距離の戻り信号がある所の、方位角と仰角、すなわち、 θ と ϕ を示し、したがって、細密な解像度の走査が有用であるエリアを示す。疎のマスクは、水平方向に 10^{-3} （約0.06°）の解像度と、垂直方向に 10^{-4} rad（約0.006°）以下の解像度を有する。水平軸632は、方位角 θ を示し、これは $-0.2 + 0.2$ radで、約 $-11.5 + 11.5$ °に対応する。垂直軸は、仰角 ϕ を示し、4つのマスク同士で、その範囲がわずかに異なる。図6Bは、第1の距離ゲートn=1からの戻り信号の角空間位置を描いた2値画像630である。垂直軸634は、約 $-0.12 \sim 0$ radの範囲であり、約 -7 °から 0 °、すなわち、水平までである。 -0.05 rad（約 -3 °）より上には戻り信号がない。黒マスクエリア635における特徴距離が、目標空間解像度s、および式2aまたは式2cとともに、角解像度 $\Delta\phi$ を決定するた

10

20

30

40

50

めに用いられる。列順または垂直のこぎり歯状走査軌跡については、カバーされるエリアは、最小垂直角約 - 0 . 1 2 r a d から、破線 6 3 6 によって示される最大垂直角までである。行順または水平のこぎり歯状走査軌跡については、最小方位角と最大方位角（図示せず）は、仰角 - 0 . 0 5 r a d 未満について、それぞれ、 - 0 . 2 r a d と + 0 . 2 r a d である。

【 0 0 5 3 】

同様に、図 6 C は、第 2 の距離ゲート $n = 2$ からの戻り信号を描いたものである。垂直軸 6 4 4 は、約 - 0 . 0 6 r a d ~ 約 0 . 1 1 r a d の範囲であり、これは約 - 3 . 5 ° ~ 6 . 3 ° に一致する。第 1 の距離ゲートの最大仰角である - 0 . 0 5 r a d (約 - 3 °) より下には戻り信号がない。第 2 の距離ゲートにおける戻り信号は、黒エリア 6 4 5 によって示され、0 r a d 未満の地面レベルとともに、街灯柱と街灯柱の右手の木を表している。黒マスクエリア 6 4 5 における特徴距離が、目標空間解像度 s 、および式 2 a または式 2 c とともに、角解像度 を決定するために用いられる。列順または垂直のこぎり歯状走査軌跡については、カバーされるエリアは、最小垂直角約 - 0 . 5 r a d から、各方位角 において単一の値である、破線 6 4 6 によって示される最大垂直角までである。行順または水平のこぎり歯状走査軌跡については、最小方位角と最大方位角（図示せず）は、仰角 において、各々、単一の値である。最小方位角は、街灯柱の左側にあり、最大方位角は、木の右側にある。

【 0 0 5 4 】

図 6 D は、第 3 の距離ゲート $n = 3$ からの信号戻りを描いた 2 値画像 6 5 0 である。垂直軸 6 5 4 は、約 - 0 . 0 1 r a d から約 0 . 1 1 r a d まで延び、約 - 0 . 6 ° ~ 約 6 . 3 ° に一致する。第 2 の距離ゲートの地面レベルのほぼ最大仰角である、約 - 0 . 0 1 r a d (約 - 0 . 6 °) より下には、戻り信号はない。第 3 の距離ゲートにおける戻り信号は、黒エリア 6 5 5 によって示され、約 0 r a d に、頂部の地面レベルとともに、林、林の右手のいくつか街灯および標識柱、ならびに、さらに右手に遠く藪を表している。黒マスクエリアにおける特徴距離が、目標解像度 s 、および式 2 a または式 2 c とともに、角解像度 を決定するために用いられる。列順または垂直のこぎり歯状走査軌跡については、カバーされるエリアは、トレース 6 5 8 によって与えられた最小垂直角と、各方位角 において単一の値である、破線トレース 6 5 6 によって与えられた最大垂直角の間である。行順または水平のこぎり歯状走査軌跡については、最小方位角と最大方位角（図示せず）は、仰角 において、各々、単一の値である。最小方位角は、林の左手にあり、最大方位角は、林の右手を柱状物のある仰角まで下がり、そこから、柱状物の右手を藪のある仰角まで下がり、そこから藪の右手に延びる。

【 0 0 5 5 】

図 6 E は、最後の距離ゲート $n = 4$ からの信号戻りを描いた 2 値画像 6 6 0 である。垂直軸 6 6 4 は、（斜視図で、より遠い物体は、より小さく見え、垂直角におけるその延長距離は、より小さいので）約 0 r a d から約 0 . 0 8 r a d まで延び、約 0 ° ~ 約 4 . 5 ° に一致する。約 0 r a d 未満では、戻り信号はなく、この角度は、第 3 の距離ゲートの地面レベルのほぼ最大仰角である。第 4 の距離ゲートにおける戻り信号は、黒エリア 6 6 5 によって示され、林、切り開いた土地、さらに、幅方向に並んだ木々と、その上の約 0 . 0 1 r a d の地面レベルを表している。黒マスクエリア 6 6 5 における特徴距離が、目標空間解像度 s 、および式 2 a または式 2 c とともに、角解像度 を決定するために用いられる。列順または垂直のこぎり歯状走査軌跡については、カバーされるエリアは、トレース 6 5 8 によって与えられた最小垂直角と、各方位角 において単一の値である、破線トレース 6 6 8 によって与えられた最大垂直角の間である。行順または水平のこぎり歯状走査軌跡については、最小方位角と最大方位角（図示せず）は、仰角 において、各々、単一の値である。最小方位角は、林の左手に延び、最大方位角は、林の右手を一群の立木のある仰角まで下がり、そこから、右端の 0 . 2 0 r a d まで下がる。このような行順走査軌跡は、列順またはのこぎり歯状走査軌跡ほどは、多くのエリアを、高精度走査から排除しないことは留意すべきである。点線 6 6 9 は、図 7 A と図 7 B に高精度走査軌跡で

10

20

30

40

50

表示されたエリアの水平部分を示す。

【0056】

図7Aと図7Bは、実施形態による、それぞれ、異なる特徴距離（または、異なる目標空間解像度）について図6Eに描かれた距離ゲートの一部での、複数の隣接する水平スライスにおける例示の適応走査パターンを図示するグラフである。水平軸712は、方位角がラジアル単位で約-0.085～約0.005radであることを示し、約-5°～約0.3°のウィンドウに一致し、これは、図6Eに点線方形669の水平方向範囲として描かれている。垂直軸714は、仰角がラジアン単位で約-0.01rad～約0.06radであり、約-0.6°～約3.5°のウィンドウに一致する。現ウィンドウにおける、図6Eからの、トレース668によって与えられた最小垂直角と破線666によって与えられた最大垂直角もプロットされている。両方のトレースは、この適応走査軌跡の細密角解像度に合わせて、内挿補間されている。図7Aは、最小仰角と最大仰角の間の高解像度走査軌跡716のグラフ710である。水平反復離隔角 A_{HR} は、約0.0005rad(0.01rad)離隔したチェックマーク間に20回の反復があることに留意すること)であり、これは、離隔角0.03°に一致する。この反復離隔角が_____に等しいと仮定すると、_____も0.03°に等しい。したがって、こののこぎり歯状走査軌跡に沿って垂直方向0.03°ごとに距離が測定される。
10

【0057】

図7Bは、異なる距離または目標解像度条件の下での、最小仰角と最大仰角の間の高解像度走査軌跡726のグラフ720である。図示のために、図7Bでは、図7Aを作成するために用いられた値よりも、特徴距離が、はるかに小さい、または目標空間解像度sが、はるかに疎であると仮定している。その結果、式2aにより決定される角解像度は、はるかに疎である。図7Bでは、水平反復離隔角 A_{HR} は、約0.003radであり(0.01rad)離隔しているチェックマーク間に約3.3反復があること留意すること)、これは、約0.17°の離隔角に一致し、図7Aよりも、約6倍疎である。反復離隔角が_____に等しいと仮定すると、_____は、0.17°に等しい。したがって、距離は、こののこぎり歯状走査軌跡に沿って垂直方向0.17°ごとに測定される。図示において、読者は、点線が、のこぎり歯状走査軌跡を表す点線・破線線分内にある所で、距離測定が行われると仮定することができる。
20

【0058】

いくつかの実施形態では、適応走査は、自動的に、かつリアルタイムで、実行される。そのような実施形態では、特徴距離、走査エリア、走査軌跡、および角解像度の決定を自動化し、毎秒約1フレーム以上の望ましいフレームレートを可能にするために十分迅速に適応走査を実行するために、様々な方法が用いられる。
30

【0059】

上述のように、いくつかの実施形態では、距離ゲート、例えば、Nの値、およびN個の R_{near_n} の値は、適応走査の前に、手動で、事前決定または設定される。しかし、いくつかの実施形態では、Nの値、あるいは R_{near_n} のN個の値、またはそれらの両方が、疎間隔距離測定においては、観測距離R(,)に基づいて、自動的かつ適応的に決定される。例えば、上述のように、Nおよび R_{near_n} は、観測距離の低パーセンタイルと高パーセンタイル(例えば、5パーセンタイルと99パーセンタイル)に基づいて決定される。
40

【0060】

別の実施形態では、数Nおよび値 R_{near_n} は、疎間隔距離測定におけるR(,)のヒストグラムに基づいて決定される。図10は、実施形態による、対象場所の疎角走査における距離のヒストグラムを例示するグラフ1010である。走査レーザ測距システムは最大距離 R_{max} に合わせて構成されるものと仮定される。ヒストグラム軸1012は、 R_{max} に比べて小さいBIN幅、例えば、 R_{max} の1/10～1/100、または1/1000のBIN幅、を有する距離BINを示す。垂直軸1014は、いずれかの距離BINに入る測定距離の件数を示す。トレース1016は、例示ヒストグラムを描いたもので
50

ある。件数は平坦ではなく、いくつかのピーク 1017 と谷 1015 を有することに注目すること。大きな形状は、ヒストグラムにおいてピークを生み出す可能性が高く、開けた地域は、谷を生み出す可能性が高い。いくつかの実施形態では、距離ヒストグラムは、一定の角密度で疎走査が実行されることを説明するために、スケールが距離の関数として再設定された。このスケールの再設定は、この食い違いを説明するために、ヒストグラムにおいて、より遠い点の測定に、より重みを与える。

【0061】

いくつかの実施形態では、1つ以上の距離ゲート値 R_{near_n} が、垂直点線によって示すように、ヒストグラム 1016 において生起の谷であるように決定される。そして、これらの実施形態のうちのいくつかでは、距離ゲートの特徴距離は、距離ゲートにおける最大生起の距離（例えば、 R_{peak_n} ）である。多様な利用可能なソフトウェアーチンを用いて、最小値とピーク値の両方が、迅速かつ自動的に、決定される。
10

【0062】

その他の実施形態では、BIN幅の定義を要しない累積ヒストグラムが生成され得る。累積ヒストグラムの変化率が、ピークと谷を発見するために、図 10 に描かれたトレース 1016 の代わりに、用いることができる。

【0063】

図 11A は、実施形態による、対象の場所の疎角走査のデータ構造 1100 の例示のブロック図である。このデータ構造は、本明細書に記載する特定の工程を実行する際、計算効率を良くするために、水平角順に、距離ゲートセット $R Gn$ を格納する。当然、列順または水平方向のこぎり歯状走査軌跡を用いる実施形態のためには、上記に代わって、水平角の最小値と最大値が、垂直角順に格納される。ここでは、単純化のために、列順、すなわち、垂直のこぎり歯状走査軌跡が用いられると仮定する。データ構造およびフィールドが、図 11A に、その後、図 11B に、ダイヤグラムが、図示のために、統合ブロックとして、特定の順序で、描かれているが、他の実施形態では、1つ以上のデータ構造あるいはフィールド、またはそれらの一部が、1つ以上のホストあるいはメッセージにおいて、同じ、あるいは異なる数のデータ構造またはデータベースに、異なる順序で、配置され、あるいは排除され、または、1つ以上の追加フィールドが含まれ、または、データ構造あるいはフィールドが、いくつかの組み合わせ方で変更される。
20

【0064】

疎走査データ構造 1100 は、距離ゲート ID フィールド 1111、開始距離フィールド 1112、停止距離フィールド 1113、距離数フィールド 1114、距離統計フィールド 1117、最小方位角フィールド 1115、最大方位角フィールド 1116、最小仰角フィールド 1118、および最大仰角フィールド 1119 を含む。データ構造 1100 はまた、以下、長円形で指示し、集合的に疎走査レコードフィールド 1120 と呼ぶ、1つ以上の疎走査レコードフィールド 1120a、1120b、その他を含む。
30

【0065】

距離ゲート ID フィールド 1111 は、N 個の距離ゲートの各々に対してユニークな識別子、例えば、n 番目の距離ゲートに対して数 n のような、識別子を指示するデータを保持する。開始距離フィールド 1112 は、 R_{near_n} を示すデータを保持し、停止距離フィールド 1113 は、 R_{far_n} を示すデータを保持する。距離数フィールド 1114 は、どれだけ多くの疎距離が現距離ゲート内に入るかを示すデータを保持する。この数は、例えば、図 10 における垂直点線の間のBINの総数によって与えられる。距離開始フィールド 1117 は、例えば、特徴距離として、利用することができる距離ゲート内の距離の、1つ以上の統計特性、例えば、特に、平均距離、あるいは二乗平均平方根距離、あるいは中央値距離、あるいは1つ以上のピーク距離、あるいは1つ以上のパーセンタイル距離などを、単独で、または組み合わせとして、示すデータを保持する。いくつかの実施形態では、フィールド 1117 は排除される。最小方位角フィールド 1115 は、距離ゲートにおいて最も小さい水平方向角を示すデータを保持し、最大方位角フィールド 1116 は、距離ゲートにおいて最も大きい水平方向角を示すデータを保持する。同様に、最小仰角フィールド 1118 は、距離ゲートにおいて最も大きい垂直角を示すデータを保持し、最大仰角フィールド 1119 は、距離ゲートにおいて最も小さい垂直角を示すデータを保持する。
40

角フィールド 1118 は、距離ゲートにおいて最も小さい垂直方向角を示すデータを保持し、最大仰角フィールド 1119 は、距離ゲートにおいて最も大きい垂直方向角を示すデータを保持する。

【0066】

疎走査レコード 1120 は、各々、方位角フィールド 1121、仰角フィールド 1122、および距離フィールド 1123 に描かれている疎データのための、それぞれ、方位角、仰角、および距離の 3 つ一組データ R (,) を示すデータを含む。レコードは、データレコードの構築が極めて迅速に行われるよう、疎走査データによって集められ、R near_n 値によってゲートに入れられ、方位角値の昇順で配置される。疎データが収集されるまで距離ゲートが定義されない場合でも、収集された生データは、方位角順に高速メモリに格納され、データが収集されると同時に、ヒストグラムが満たされる。ヒストグラムが集められたならば、N および R near_n の値が、迅速に計算され、フィールド 1111、1112、および 1113 を満たすために使用される。そして、格納された生データは、すでに方位角順である高速メモリから呼び出され、当然に、かつ自動的に方位角順であるレコードに、対応するデータ構造に、配置される。フィールド 1114 ~ 1119 の値は、高速メモリに維持され、各レコードがデータ構造に加えられるたびに、増加する。最後の距離が呼びだされた後、フィールド 1114 ~ 1119 の値は、いったんデータ構造に書き込まれる。その結果、データ構造 1100 は、レコードごとに、2 つの入力 / 出力 (I/O) 操作のみによって、満たすことができる。

【0067】

図 11B に描かれた別のデータ構造は、同じ形状において描かれるような、細密操作軌跡を生成するために、図 7A または図 7B に描かれたトレース 666 および 668 などの、トレースを定義する際に使用するために、最小走査角および最大走査角を、方位角の関数として格納するために使用される。異なる方位角値が、各々、単一の仰角値を有する、疎走査の、のこぎり歯状走査軌跡で、これを行うために、データは、のこぎり歯状走査軌跡の 1 つの垂直スイープにおける、すべての仰角標本を取り扱うのに十分な大きさの方位角 bin に配置されなければならない。例えば、データは、少なくとも 1 つの水平反復離隔角 A_{HR} の幅を有する方位角 bin に、有用に配置される。より幅の広い方位角 bin も使用することができ、垂直スイープの開始と適切に位置が合っていれば、幅が半分の bin でも使用可能である。当然、行順、すなわち、水平ののこぎり歯状走査軌跡では、方位角と仰角の切り替え機能、および垂直スライス幅が、水平スイープにおいてすべての方位角を含むように選択される。

【0068】

図 11B は、実施形態による、複数の水平角 bin の適応最大角と適応最小角のデータ構造 1150 を描いた例示のブロック図である。データ構造 1150 は、距離ゲート ID フィールド 1112、特徴距離フィールド 1152、方位角 bin 幅フィールド 1154、および bin 数フィールド 1156 を含む。距離ゲート ID は、データ構造 1100 用であつて、上述のとおりである。特徴距離フィールド 1152 は、距離ゲート、例えば、R far_n、または、データ構造 1100 のフィールド 1117 の距離統計の 1 つのために使用される特徴距離を示すデータを保持する。方位角 bin 幅フィールド 1154 は、0.5 ~ 1 以上の可変である A_{HR} 係数など、1 スイープの仰角の集合のために使用される方位角 bin の幅を示すデータを保持する。この bin は、最大仰角と最小仰角を方位の関数として定義するために使用されるスライスの水平幅を定義する。bin 数フィールド 1156 は、データ構造における bin の数、ならびに、それらのための最大仰角値の数および最小仰角値を示すデータを保持する。

【0069】

データ構造は、集合的にレコード 1160 と呼ばれる、特に長円形によって示される、レコード 1160a と 1160b も含む。各レコード 1160 は、開始方位フィールド 1161、最小仰角フィールド 1162、および最大仰角フィールド 1163 を保持する。図示した実施形態では、各レコード 1160 はまた、シードフラグ・フィールド 1164

10

20

30

40

50

、最小拡張仰角フィールド 1172、および最大拡張仰角フィールド 1173 を含む。開始方位角フィールド 1161 は、BINにおいて最も小さい方位角を示すデータを保持し、したがって、データは、方位角の関数としてプロットすることができる。最小仰角フィールド 1162 は、方位角ビンスライスにおける最小仰角を示すデータを保持する。最大仰角フィールド 1163 は、方位角ビンスライスにおける最大仰角を示すデータを保持する。シードフラグ・フィールド 1164 は、最小値および最大値が、細密な解像度での方位角に対して、最小仰角値と最大仰角値の拡張および内挿補間または外挿補間をシードするために使用されるか否かを示すデータを保持する。使用される場合は、最小拡張仰角フィールド 1172 は、現距離ゲートの構成要素が、疎標本化のゆえに、より密な標本化の時に失われ、のこぎり歯状走査軌跡のために、水平方向に内挿補間される、可能性を低減するために、最小値が小さくされる場合の値を示すデータを保持する。同様に、最大拡張仰角フィールド 1173 は、現距離ゲートの構成要素が、疎標本化のゆえに、より密な標本化の時に失われ、のこぎり歯状走査軌跡のために、水平方向に内挿補間される、可能性を低減するために、最大仰角値が大きくされる場合の仰角値を示すデータを保持する。
10

【0070】

図 12 は、実施形態による、距離ゲートのための、最大垂直角の水平角従属および最小垂直角の水平角従属を例示するグラフである。水平軸 1212 は、ラジアン単位の方位角（水平角）を示し、垂直軸 1214 は、ラジアン単位の仰角（垂直角）を示す。トレース 1215 は、シード点を結ぶ、所望の高解像度ののこぎり歯状走査軌跡を示す。トレース 1216 は、方位角の関数としての最大仰角値のためのシード点を示し、トレース 1218 は、方位角の関数としての最小仰角値のためのシード点を示す。いくつかのシード点 1217 が、最大仰角値のトレース 1216 上に示される。いくつかのシード点 1219 が、最小仰角値のトレース 1218 上に示される。シード点は、次に述べるように、所望の細密解像度の、のこぎり歯状走査軌跡に合わせて、最大仰角シード点が、対応する最小仰角シード点から、方位角において、細密解像度 / 2 分だけ、偏位し、細密解像度 の整数倍分だけ、垂直方向に離隔されるように、拡張トレースを内挿補間することによって、発見される。
20

【0071】

図 13A と図 13B は、実施形態による、図 6C に図示する、1 つの距離ゲートの最大仰角と最小仰角、それぞれの、非拡張（緊密）と拡張の例を示す走査角空間におけるマスクである。図 13A は、図 6C の図を拡大した 2 値画像 1310 であり、最大値 1316 は、疎距離標本化における観測最大値によって、観測値にしたがって定義されたとおりである。図 13B は、図 6C の図を拡大した 2 値画像 1320 であり、最大値 1326 は、疎距離標本化における観測最大値から外方向に拡張され、最小値は、観測最小仰角から下方向に拡張されている。
30

【0072】

いくつかの実施形態では、1 つの距離ゲートにおいて細密スケールの距離測定が行われたならば、隣接距離ゲートについて走査軌跡が計算される前に、隣接する距離ゲートとの境界を、さらに精密にすることができます。

【0073】

図 14 は、実施形態による、準リアルタイムでの適応角走査を自動的に決定する例示の方法 1400 を図示するフローチャートである。方法 1400 は、各距離ゲートの点のセットについて、適応走査軌跡を計算する、図 4 の工程 411 の、自動化されたリアルタイムの実施形態の例である。したがって、図 11A のデータ構造 1100 は、工程 405 において、この図を参照して説明したように、データが配置された。
40

【0074】

工程 1401 では、例えば、データ構造 1100 において球座標に表された疎入力距離ゲート点クラウドが、定義された各水平角座標ビンについて、垂直角座標における上の境界と下の境界を計算するために使用される。いくつかの実施形態では、工程 1401 は、この工程を大幅に簡素化するために、（ソフトウェアで明示的に、または、データ収集に
50

よって明示的に) 水平座標を前ソートすることを含む。この動作の出力は、入力点クラウドの上と下の観測境界、例えば、それぞれ、各々が図11Bに描かれたデータ構造1150のレコード1160において取得可能なフィールド1161における開始方位角の関数である、フィールド1163の最大仰角とフィールド1162の最小仰角、を描く2つのトレースを含む。

【0075】

工程1403において、上と下の点クラウド観測境界は、例えば、Haralick, 2007に記載されたMinkowski総和タイプの演算を用いて、拡張される。その結果、上部半円形状には、上の境界に追加され、下部半円形状には、下の境界が追加される。この演算の結果は、観測境界と比較して、空間的緩衝の役割を果たす、円滑化され、拡張された上下の境界となる。例えば、この出力は、各々が、図11Bに描かれたデータ構造1150のレコード1160において取得可能なフィールド1161における開始方位角の関数である、フィールド1172の最大拡張仰角とフィールド1173の最小拡張仰角に見られる。10

【0076】

工程1405では、走査ハードウェアを駆動するための適応走査波形の計算の第一歩として、細密スケールの走査軌跡のためのシード点が、上と下の境界に沿って計算される。上のシード点セットの位置は、ビン中心から所望の空間解像度の半分(例えば、/2)だけ偏位され、したがって、上の各シード点は、垂直のこぎり歯状走査軌跡を支えるように、下のシード点に対して偏位される。その他の走査軌跡を用いる、他の実施形態については、シード点の偏位は、行順あるいは列順についてゼロであるか、または、水平のこぎり歯状において、左シード点が、右シード点に対して偏位する。シード点の仰角座標が、反対側の境界からの整数倍になる上と下の円滑かつ拡張された境界に対して、内挿補間されてもよい。疎標本化解像度が、所望の解像度とは大きく異なる場合には、これは有用である。20

【0077】

工程1407では、シード点のセットが、走査軌跡にまたがる角標本化さえも提供するという意味で、経時的ビーム位置を定義する(走査速度、標的にに対する所望の空間解像度、距離測定速度などのシステムパラメータに関連する)コマンド値を計算する計算の終点として使用される。例えば、ビームステアリング・システムを駆動するデジタル・アナログ変換器(DAC)の出力標本速度で報告される水平と垂直の走査軌跡点は、それぞれ、水平と垂直の境界(水平と垂直のシード点位置)の間に線形に間隔を置いて配置される。DACの出力は、ステッピングミラーなどの走査コンポーネントを駆動する。キーは、境界上に配置される標本の数である。これは、DAC標本速度 $S R_{D A C}$ 、パルス時間幅、および所望の走査密度に従属する。したがって、軌跡のセグメントの開始境界と終止境界(例えば、垂直のこぎり歯状パターンのスライス内セグメントの下境界と上境界)の間の第1の次元角(例えば、垂直角すなわち仰角)の大きさ E 、DAC標本速度 $S R_{D A C}$ 、パルス時間幅、および所望の走査密度(目標角解像度)について、軌跡の線分に沿って線形分布する点の数 M が、式5によって与えられるものとして計算される。30

$$M = S R_{D A C} * E / (5)$$

式5において、 $E /$ は走査軌跡の仰角または方位角走査跡の単位当たりパルス数であることに注目すべきである。 $S R_{D A C} *$ は、パルス当たりの走査光学装置制御標本数である。これらの積は、走査跡単位当たりの制御標本数である。40

【0078】

式5の計算は、さらに、システムパラメータ値を仮定することによって例示される。

$= 10^{-4} \text{ rad}$ (約 0.006°)および $E = 0.5 \text{ rad}$ (約 30°)については、走査跡単位当たりの数は5,000である。パルス反復周波数(PRF)100キロヘルツ(kHz、 $1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$ 、 $1 \text{ Hz} = \text{毎秒} 1 \text{ 標本}$)については、パルス時間幅は、 $= 10 \text{ マイクロ秒} (\mu\text{s}, 1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ 秒})$ である。DACからのアナログ信号出力 $S R_{D A C}$ が 250 kHz とすると、パルス当たり制御標本数は、 $S R_{D A C} *$ 50

= 2 . 5 であり、走査単位当たり 5 0 0 パルスに対して、式 5 から得られる走査光学装置を制御するための走査単位当たり出力制御標本数は、1 2 , 5 0 0 である。これは、いくつかの実施形態において、走査光学装置に送られるコマンドに指示される。いくつかの実施形態では、D A C 標本速度は、式 5 により計算されるもの以外は、固定値を有する。そのような固定値も使用可能である。この固定値と、式 5 により得られる所望の標本数または時間との食い違いは、処理後に整理可能である。

【 0 0 7 9 】

いくつかの実施形態では、ローカルオシレータのための遅延時間 $t_{L_o_n}$ は、上述のように、式 4 を用いて、距離ゲート n のための各距離ゲート標本化について決定される。

【 0 0 8 0 】

工程 1 4 0 9 では、各距離ゲートについて計算された適応走査軌跡が、走査レーザ測距システムに与えられる。いくつかの実施形態では、これは、式 5 により得られる走査速度（走査単位当たりの出力制御標本数）、式 4 による遅延時間、ならびに、最小と最大の垂直角および開始と終止水平角（または、他の軌跡について、対応する開始と終止の第 1 次元角、および第 2 の次元の最大値と最小値のセット）を送ることを含む。

【 0 0 8 1 】

5 . 計算ハードウェアの概要

図 8 は、本発明の実施形態が実装され得るコンピュータシステム 8 0 0 の例示のブロック図である。コンピュータシステム 8 0 0 は、コンピュータシステム 8 0 0 の内部および外部のコンポーネント間で、情報を送受させるためのバス 8 1 0 などの、通信メカニズムを備える。情報は、測定可能な現象、一般的には、電圧であるが、その他の実施形態においては、磁気、電磁気、圧力、化学、分子、原子および量子の相互作用などの現象の物理的信号として表される。例えば、N と S の磁場、または、ゼロと非ゼロの電圧は、2 値桁（ビット）の 2 つの状態（0 , 1）を表す。他の現象は、より高い基数の桁を表すことができる。測定前の複数の量子状態の重ね合わせは、量子ビット（q u b i t）を表す。1 つ以上の桁のシーケンスは、数または文字のコードを表すために使用される。いくつかの実施形態では、アナログデータと呼ばれる情報は、特定の範囲内の測定可能な値の近似連続体によって表される。コンピュータシステム 8 0 0 、またはその一部は、本明細書に記載する 1 つ以上的方法の 1 つ以上の工程を実行するための手段を構成する。

【 0 0 8 2 】

2 値桁のシーケンスは、数または文字コードを表すために使用されるデジタルデータを構成する。バス 8 1 0 は、情報がバス 8 0 0 に接続されたデバイス間に迅速に送達されるように、多数の並列の情報導体を含む。情報を処理するための 1 つ以上のプロセッサ 8 0 2 が、バス 8 1 0 に接続される。プロセッサ 8 0 2 は、情報に対する動作のセットを実行する。この動作のセットは、バス 8 1 0 から除法を取り込むこと、および、バス 8 1 0 に情報を送り込むことを含む。この動作のセットはまた、典型的には、1 つ以上の情報単位を比較すること、情報単位の位置を移動すること、および、加算または乗算などによって、2 つ以上の情報単位を組み合わせることを含む。プロセッサ 8 0 2 によって実行されるべき動作のシーケンスは、コンピュータ命令を構成する。

【 0 0 8 3 】

コンピュータシステム 8 0 0 はまた、バス 8 1 0 に接続されたメモリ 8 0 4 を含む。ランダムアクセスメモリ（R A M）またはその他の動的記憶デバイスなどのメモリ 8 0 4 は、コンピュータ命令を含む情報を記憶する。動的メモリは、そこに記憶された情報が、コンピュータシステム 8 0 0 によって変更されることを可能にする。R A M は、メモリアドレスと呼ばれる位置に格納された情報の単位が、隣接するアドレスにある情報から独立して、格納され、引き出されることを可能にする。メモリ 8 0 4 はまた、プロセッサ 8 0 2 によって、コンピュータ命令の実行の間、一時的な値を格納するために使用される。コンピュータシステム 8 0 0 はまた、コンピュータシステム 8 0 0 によって変更されない、命令を含む、静的情報を記憶するための、バス 8 1 0 に接続された読み出し専用メモリ（R O M）8 0 6 、または、その他の静的記憶デバイスを含む。コンピュータシステム 8 0 0

10

20

30

40

50

が電源オフにされた場合、またはその他、電力を失った場合でも、保持される、命令を含む、情報を記憶するために、磁気ディスクまたは光ディスクなどの、非揮発（永久的）記憶デバイス 808 も、バス 810 に接続される。

【0084】

命令を含む情報は、人間のユーザが操作する英数字キーを備えるキーボード、またはセンサなど、外部入力デバイス 812 から、プロセッサによる使用のために、バス 810 に提供される。センサは、その近傍における状態を検知し、その検知を、コンピュータシステム 800 において情報を表すために使用される信号に変換する。バス 800 に接続され、主として人間との対話のために使用される、他の外部デバイスは、画像を提示するための陰極線管（CRT）または液晶ディスプレイ（LCD）などのディスプレイ装置 814、および、ディスプレイ 814 上に提示される小さなカーソル像の位置を制御し、ディスプレイ 814 上に提示されるグラフィカル要素に関連するコマンドを発するための、マウス、トラックボールまたはカーソル誘導キーなどのポインティングデバイス 816 を含む。10

【0085】

図示された実施形態において、特定用途向け集積回路（IC）820 など、特別目的ハードウェアが、バス 810 に接続される。特別目的ハードウェアは、特別な目的のために十分に迅速に、プロセッサ 800 によって実行されない動作を実行するように構成される。特定用途向け IC の例には、ディスプレイ 814 のための画像を生成するためのグラフィクスアクセラレータ・カード、ネットワークを介して送られるメッセージを暗号化および解読するための暗号化基盤、ならびに、ハードウェアに実装する方がより効率的な複雑な動作シーケンスを反復実行する、ロボットアームおよび医療用走査機器など、特別な外部デバイスとの音声認識およびインタフェースなどがある。20

【0086】

コンピュータシステム 800 はまた、バス 800 に接続された通信インターフェース 870 の 1つ以上の例を含む。通信インターフェース 870 は、プリンタ、スキャナ、外部ディスクなど、それ自身のプロセッサとともに動作する多様な外部デバイスに接続される双向通信を提供する。一般に、この接続は、それ自身のプロセッサを有する多様な外部デバイスが接続されるローカルネットワーク 880 に接続されるネットワークリンク 878 との間になされる。例えば、通信インターフェース 870 は、パソコン上のシリアルポートまたはユニバーサルシリアルバス（USB）であってもよい。いくつかの実施形態では、通信インターフェース 870 は、統合サービスデジタルネットワーク（ISDN）カード、デジタル加入者線（DSL）、または、対応する型の電話回線への情報通信接続を提供する電話モジュールである。いくつかの実施形態では、通信インターフェース 870 は、バス 810 上の信号を、同軸ケーブルを介する通信接続のための信号、または光ファイバケーブルを介する通信接続のための光信号に変換するケーブルモジュールである。別の例では、通信インターフェース 870 は、Ethernet など、適合 LAN へのデータ通信接続を提供するローカルエリアネットワーク（LAN）カードとあってもよい。無線リンクが実装されてもよい。音波、および、無線波、光、赤外線波を含む電磁波などの、搬送波は、ワイヤもケーブルもなしに、空間を進行する。信号は、搬送波の振幅、周波数、位相、極、またはその他の物理特性の人工の変動を含む。無線リンクについては、通信インターフェース 870 は、デジタルデータなど、情報のストリームを運ぶ、電気、音、または、赤外線および光の信号を含む、電磁気の信号を送受する。3040

【0087】

本明細書において、コンピュータ可読媒体という用語は、プロセッサ 802 への、実行命令を含む、情報の提供に参加する任意の媒体を指すために用いられる。そのような媒体は、非揮発性媒体、揮発性媒体、送信媒体を含むが、それらに限定されない、多数の形式をとる。揮発性媒体は、例えば、記憶デバイス 808 など、光または電磁気ディスクを含む。揮発性媒体は、例えば、動的メモリ 804 を含む。送信媒体は、例えば、同軸ケーブル、銅線ワイヤ、光ファイバケーブル、ならびに、音波、および、無線波、光、赤外線波50

を含む、電磁波など、ワイヤもケーブルもなしに空間を進行する波を含む。本明細書において、送信媒体を除き、コンピュータ可読媒体という用語は、プロセッサ 802への情報の提供に参加する任意の媒体を指すために用いられる。

【0088】

一般的な形のコンピュータ可読媒体は、例えば、フロッピーディスク、フレキシブルディスク、ハードディスク、磁気テープ、または、その他の任意の磁気媒体、コンパクトディスクROM(CD-ROM)、デジタルビデオディスク(DVD)、またはその他の任意の光媒体、パンチカード、紙テープ、またはその他の任意の穴パターンを有する物理媒体、RAM、プログラマブルROM(PROM)、消去可能PROM(EPROM)、フラッシュEPROM、またはその他の任意のメモリチップあるいはカートリッジ、搬送波、または、コンピュータが読み出すことができるその他の任意の媒体を含む。本明細書において、非一時的コンピュータ可読記憶媒体という用語は、搬送波およびその他の信号を除き、プロセッサ 802への情報提供に参加する媒体を指すために用いられる。10

【0089】

1つ以上の有形媒体に符号化される論理には、コンピュータ可読媒体上のプロセッサ命令と、ASIC 820などの特別目的ハードウェア上のそのうちの、一方または両方などがある。

【0090】

ネットワークリンク 878 は、典型的には、1つ以上のネットワークを通じて、情報を使用または処理する他のデバイスに、情報を提供する。例えば、ネットワークリンク 878 が、ローカルネットワーク 880 を介して、ホストコンピュータ 882、または、インターネットサービスプロバイダ(ISP)によって運用される設備 884 への接続を提供してもよい。そして、ISP 設備 884 は、現在では一般にインターネット 890 と呼称される、全世界公衆パケット交換通信の、ネットワークのネットワークを介して、データ通信サービスを提供する。インターネットに接続されたサーバ 892 と呼ばれるコンピュータは、インターネットを通じて受け取った情報に応答して、サービスを提供する。例えば、サーバ 892 は、ディスプレイ 814 における表現のために、映像データを表す情報を提供する。20

【0091】

本発明は、本明細書に記載する技術を実装するためのコンピュータシステム 800 の使用に関する。本発明の実施形態により、前記の技術は、メモリ 804 に格納された1つ以上の命令の1つ以上のシーケンスを実行するプロセッサ 802 に応答して、コンピュータシステム 800 によって実行される。ソフトウェアおよびプログラムコードとも呼ばれる、そのような命令は、記憶デバイス 808 など、他のコンピュータ可読媒体から、メモリ 804 に読み込まれてもよい。メモリ 804 に格納された命令シーケンスの実行は、プロセッサ 802 に、本明細書に記載した工程の実行を行わせる。それに代わる別の実施形態では、特定用途向け集積回路 820 などのハードウェアが、本発明の実装のために、ソフトウェアに代わって、またはソフトウェアと組み合わせて、使用されてもよい。したがって、本発明の実施形態は、個別のハードウェアとソフトウェアの組み合わせに限定されない。30

【0092】

ネットワークリンク 878、および通信インターフェース 870 を介する他のネットワークを通じて送信された信号は、情報を、コンピュータシステム 800 へ、また、そこから情報を運ぶ。コンピュータシステム 800 は、ネットワークリンク 878 および通信インターフェース 870 を介して、特にネットワーク 880、890 を通じて、プログラムコードを含む、情報を送受することができる。インターネット 890 を使用する例において、サーバ 892 は、コンピュータシステム 800 から送信されたメッセージによって要求された特定アプリケーションのためのプログラムコードを、インターネット 890、ISP 設備 884、ローカルネットワーク 880、および通信インターフェース 870 を介して、送信する。受信されたコードは、受信と同時に、プロセッサ 802 によって実行されても40

よく、後で実行するために、記憶デバイス 808、あるいは、その他の非揮発性記憶装置に格納されてもよく、またはそれらの両方であってもよい。このようにして、コンピュータシステム 800 は、搬送波上の信号の形で、アプリケーションプログラムコードを取得してもよい。

【0093】

多様な形式のコンピュータ可読媒体が、命令あるいはデータ、またはそれらの両方の、1つ以上のシーケンスを、実行のために、プロセッサ 802 へ運ぶことにかかわってもよい。例えば、命令およびデータは、最初、ホスト 882 など、遠隔コンピュータの磁気ディスク上に運ばれてもよい。遠隔コンピュータは、命令およびデータを、その動的メモリ内にロードし、命令およびデータを、モデムを使用して、電話回線を通じて送信する。10 コンピュータシステム 800 のローカルのモデムが、電話回線を介して、命令およびデータを受信し、ネットワークリンク 878 として働き、命令およびデータを赤外線搬送波上の信号に変換する赤外線送信器を使用する。通信インターフェース 870 として働く赤外線検知器が、赤外線信号として運ばれた命令およびデータを受信し、バス 810 に、命令およびデータを表す情報を乗せる。バス 810 は、情報をメモリ 804 に運び、そこから、プロセッサ 802 が命令を引き出して、命令とともに送られたデータの一部を使用して、命令を実行する。メモリ 804 に受信された命令およびデータは、任意選択的に、プロセッサ 802 による実行の前、または後に、記憶デバイス 808 に格納されてもよい。

【0094】

図 9 は、本発明の実施形態を実装し得るチップセット 900 の例示である。チップセット 900 は、本明細書に記載する方法の1つ以上の工程を実行するようにプログラムされ、20 例えば、1つ以上の物理的パッケージ（例えば、チップ）に組み込まれた、図 8 に関して記載されたプロセッサおよびメモリコンポーネントを含む。例示として、物理的パッケージには、物理的強度、サイズの保存、および／または電気的相互作用の制限など、1つ以上の特徴を提供するための構造的アセンブリ（例えば、ベースボード）上の1つ以上の資材、コンポーネント、および／またはワイヤの配置などがある。特定の実施形態においては、チップセットは単一チップに実装可能であると想定される。チップセット 900、またはその一部は、本明細書に記載する方法の1つ以上の工程を実行するための手段を構成する。

【0095】

1つの実施形態において、チップセット 900 は、チップセット 900 のコンポーネント間に情報を送受させるためのバス 901 などの通信メカニズムを含む。プロセッサ 903 は、30 例えば、メモリ 905 に記憶された命令を実行し、情報を処理するために、バス 901 への接続能力を有する。プロセッサ 903 は、1つ以上の処理コアを含むことができ、各コアは独立に実行するように構成される。マルチコアプロセッサは、単一の物理パッケージ内での複数処理を可能にする。マルチコアプロセッサの例としては、2つ、4つ、8つ、または、それより大きい数の処理コアを含む。それとは代替的に、または追加的に、プロセッサ 903 は、命令の独立的実行、パイプライン化、マルチスレッド化を可能にする、バス 901 を介して、タンデム状に構成された1つ以上のマイクロプロセッサを含んでもよい。プロセッサ 903 は、1つ以上のデジタル信号プロセッサ（D S P）907、または1つ以上の特定用途向け集積回路（A S I C）909 など、特定の処理機能およびタスクを実行する、1つ以上の特化したコンポーネントを備えて実現されてもよい。40 D S P 907 は、典型的には、プロセッサ 903 からは独立して、リアルタイムで、現実世界の信号（例えば、音）を処理するように構成される。同様に、A S I C 909 は、汎用プロセッサでは実行が容易でない、特化した機能を実行するように構成することができる。本明細書に記載する発明機能の実行を助ける、他の特化したコンポーネントとしては、1つ以上のフィールドプログラマブル・ゲートアレイ（F P G A）（図示せず）、1つ以上のコントローラ（図示せず）、またはその他の1つ以上の特別目的コンピュータチップなどがある。

【0096】

10

20

30

40

50

プロセッサ 903 および付随するコンポーネントは、バス 901 を介するメモリ 905 への接続能力を有する。メモリ 905 は、実行可能な命令であって、それが実行されると、本明細書に記載する方法の 1 つ以上の工程を行う命令を格納するための、動的メモリ（例えば、RAM、磁気ディスク、書き込み可能光ディスク等）と静的メモリ（例えば、ROM、CD-ROM 等）の両方を含む。メモリ 905 は、本明細書に記載する方法の 1 つ以上の工程の実行に関連する、またはそれによって生成される、データを格納する。

【0097】

6. 変形、拡張、および修正

以上の明細において、本発明は、特定の実施形態に照らして記述された。しかし、本発明の広い精神と範囲から逸脱することなく、本発明に様々な修正および変更を加え得ることは明らかであろう。したがって、明細書および図面は、制限的意味ではなく、例示的意味を有するとみなされなければならない。本明細書および請求の範囲を通じて、文脈から別の意味に解すべき場合を除き、comprise、ならびに、comprises および comprising など、その变形は、述べられた項目、要素、あるいは工程、または、項目、要素、あるいは工程の集まりを含むと解されるが、任意のその他の項目、要素、あるいは工程、または、項目、要素、あるいは工程の集まりを排除するものではない。さらに、不定冠詞 a または an は、それによって修飾される項目、要素、または工程の 1 つ以上を示すものである。本明細書において使用される場合、文脈から明らかである場合を除き、値は、それが他の値を 2 で乗除（2 または 1 / 2 倍）したものである場合、他の値に「約」を付けたものである。例示の範囲が与えられた場合、文脈から明らかな場合を除き、様々な実施形態において、それに含まれる範囲もすべて意図されている。したがって、いくつかの実施形態において、1 から 10 の範囲は、1 から 4 の範囲を含む。

【0098】

7. 参考文献

Adany, P., C. Allen, and R. Hui, "Chirped Lidar Using Simplified Homodyne Detection," *Jour. Lightwave Tech.*, v. 27 (16), 15 August, 2009.

Haralick, R. M., S. R. Sternberg and X. Zhuang, "Image Analysis Using Mathematical Morphology," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v. PAMI - 9 (4), July 1987.

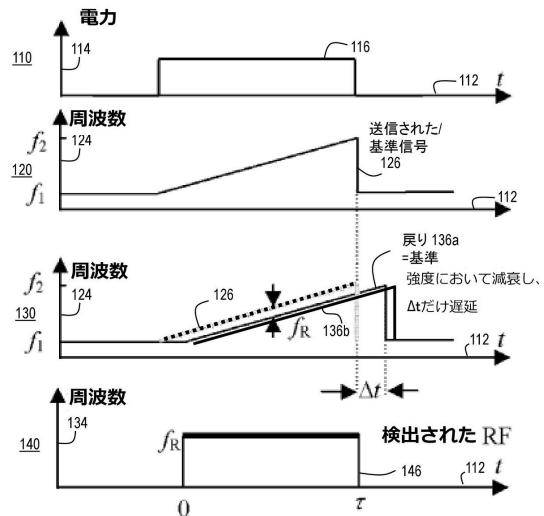
Hui, R., C. Allen, and P. Adany, "Coherent detection scheme for FM Chirped laser RADAR," US patent 7,742,152, 22 June 2010.

10

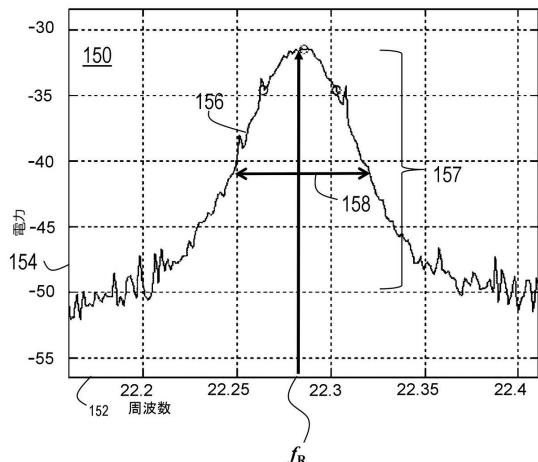
20

30

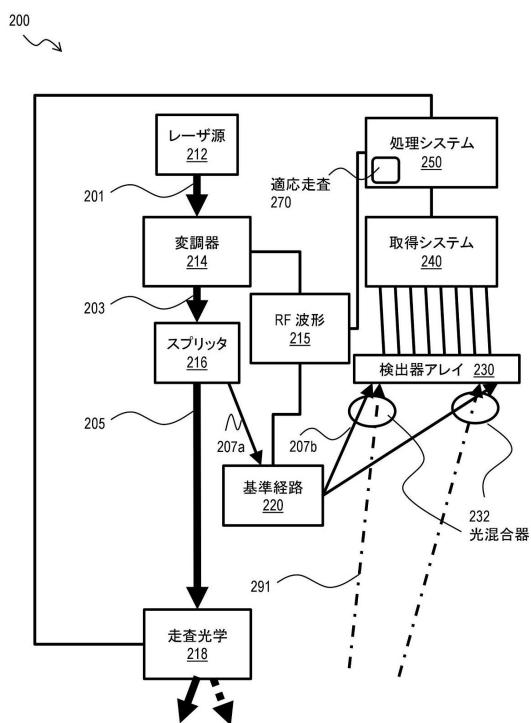
【図 1 A】



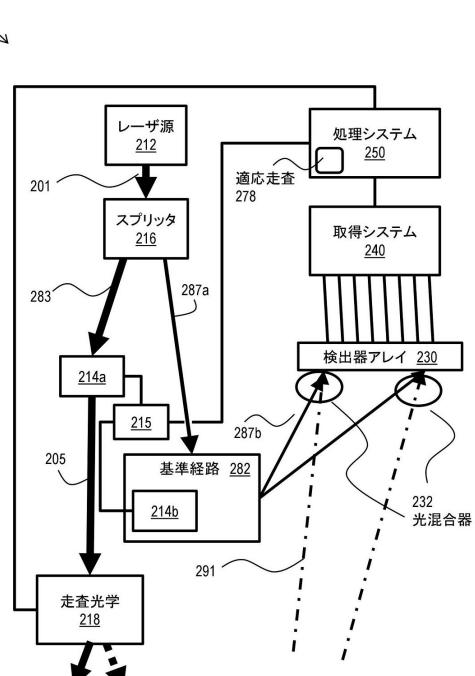
【図 1 B】



【図 2 A】



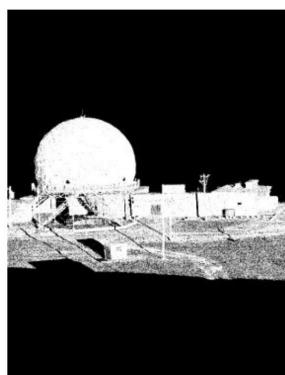
【図 2 B】



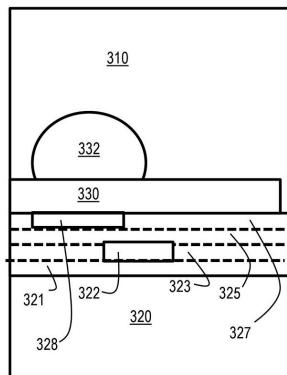
【図3A】



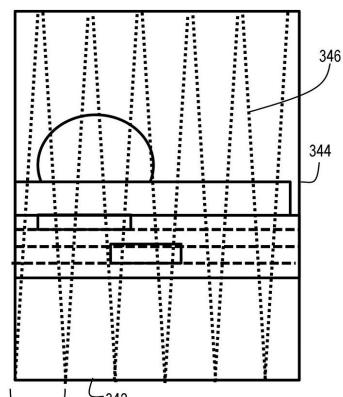
【図3B】



【図3C】

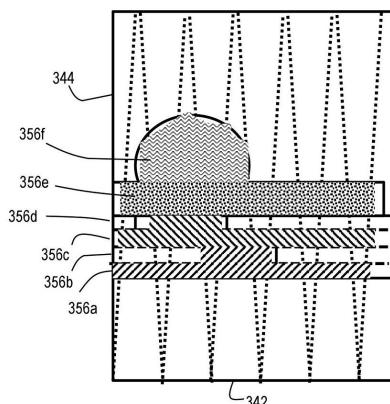


【図3D】

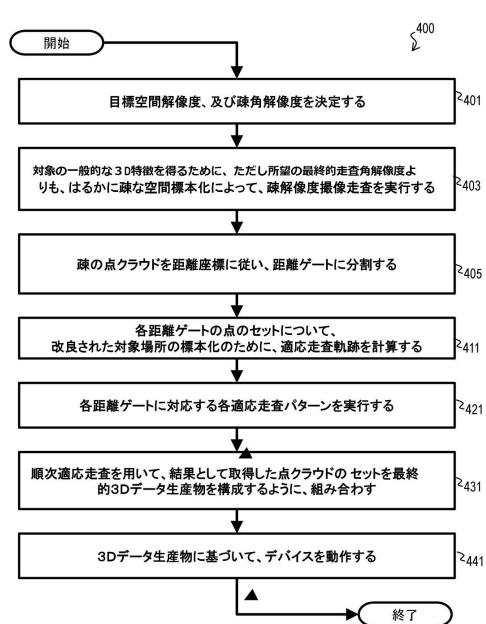


水平方向の
反復離隔角, Δ_{HR}
347

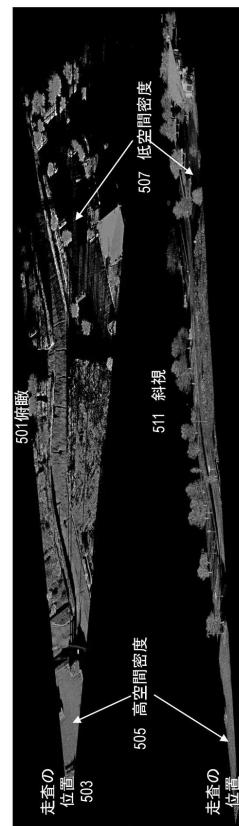
【図3E】



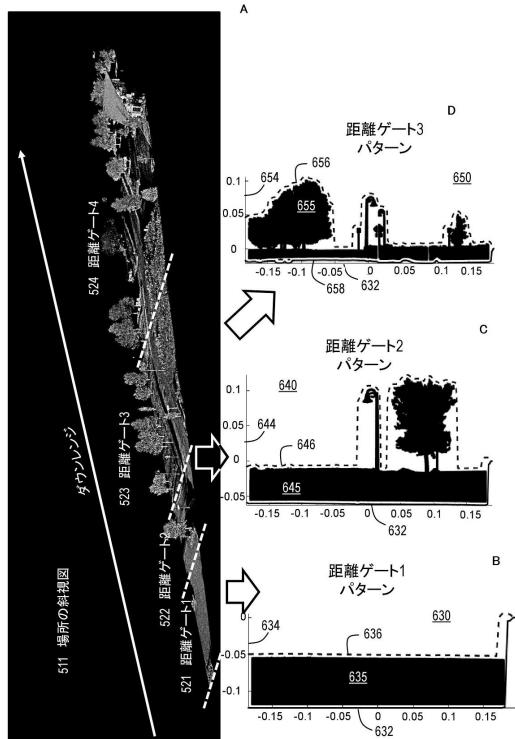
【図4】



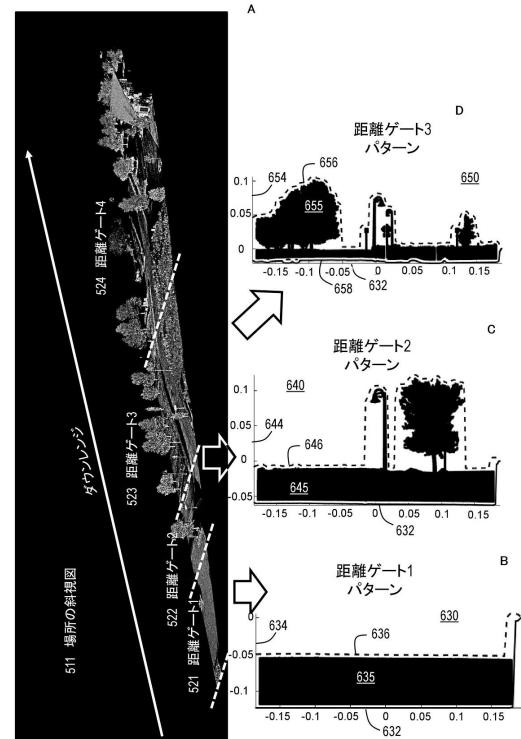
【図5】



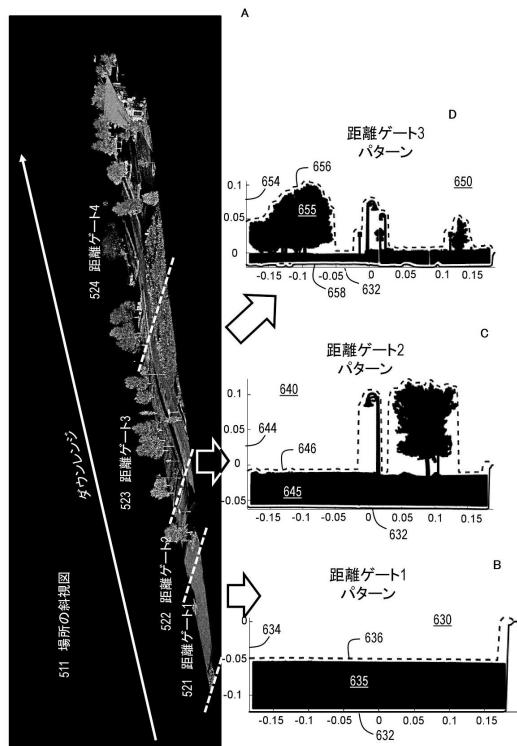
【図6 A】



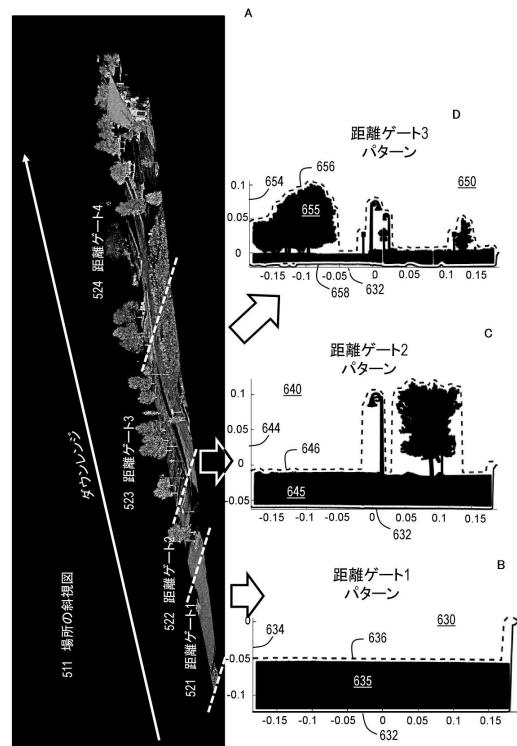
【図6 B】



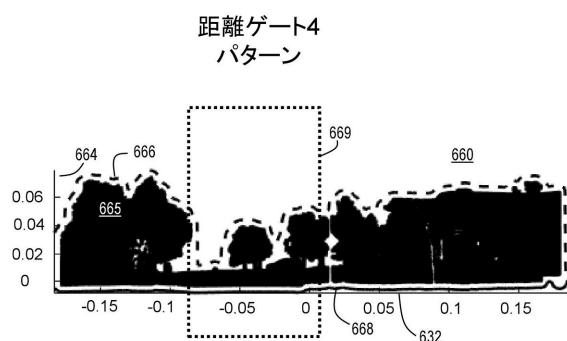
【図 6 C】



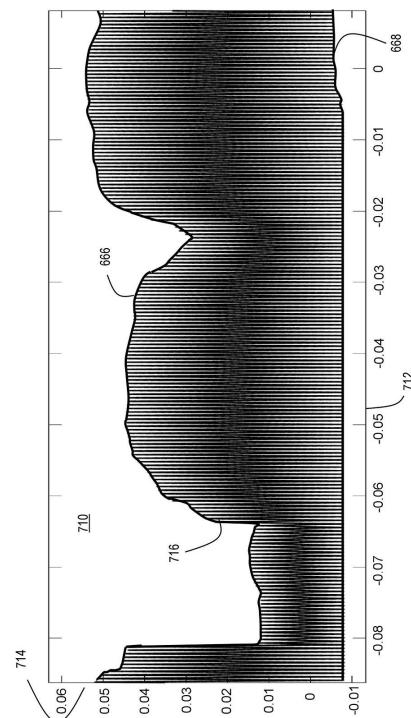
【図 6 D】



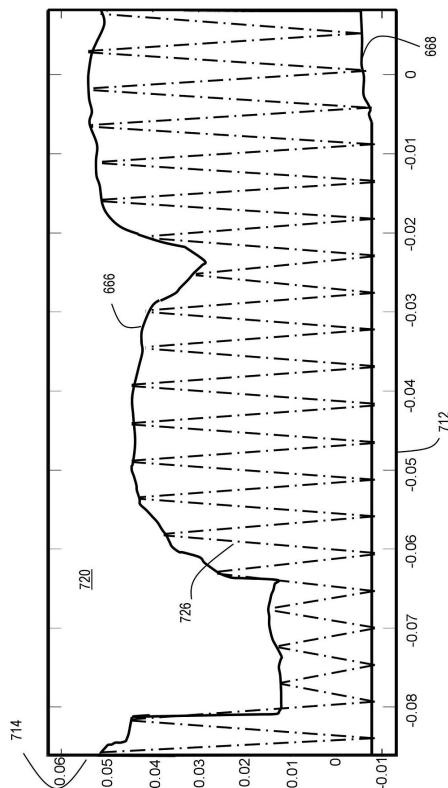
【図 6 E】



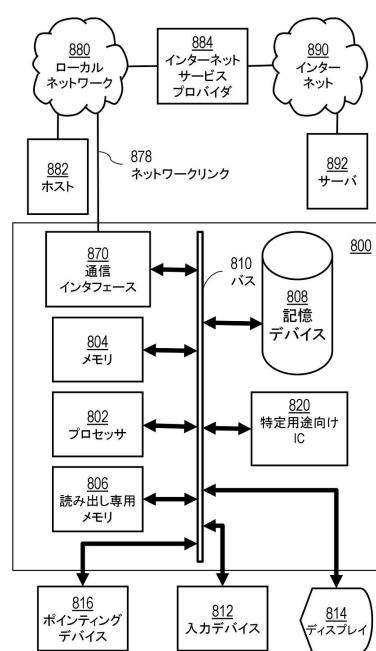
【図 7 A】



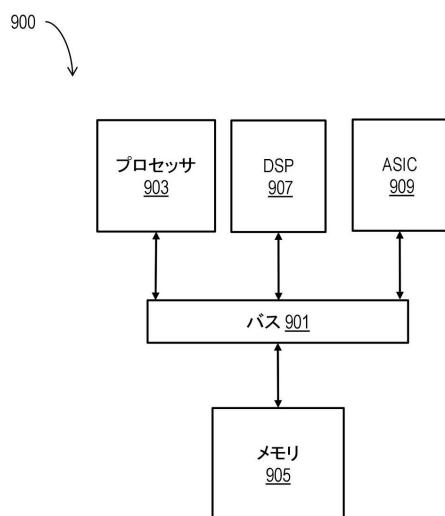
【図 7 B】



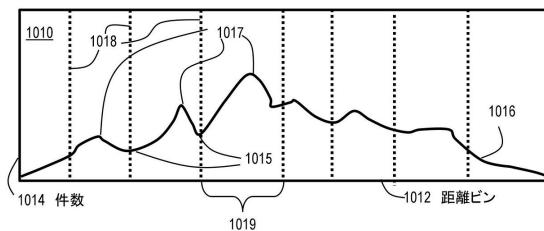
【図 8】



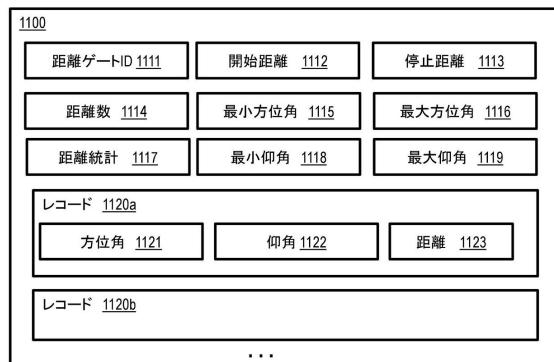
【図 9】



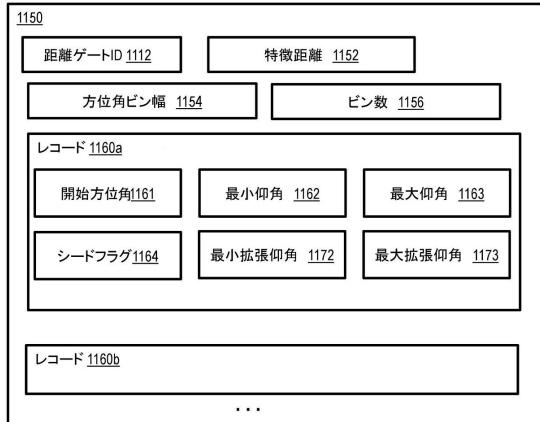
【図 10】



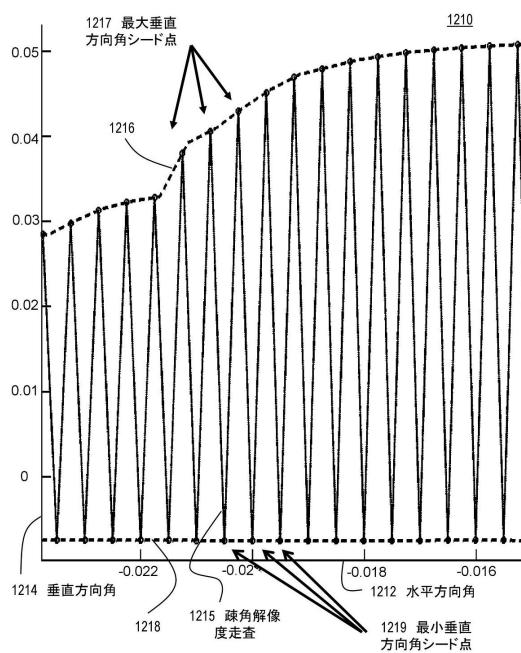
【図 11 A】



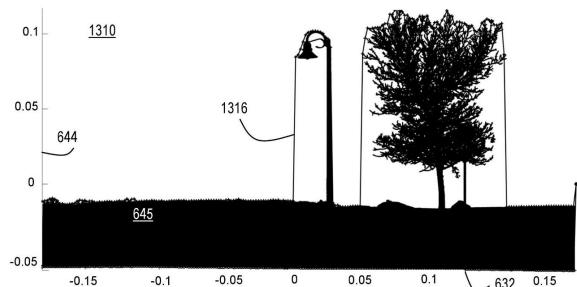
【図 1 1 B】



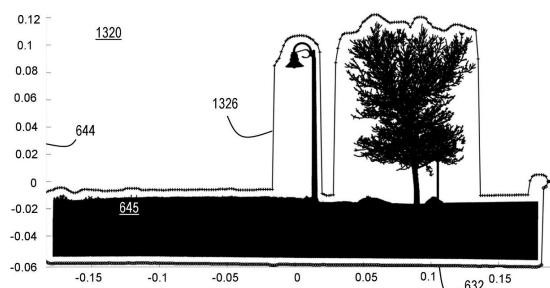
【図 1 2】



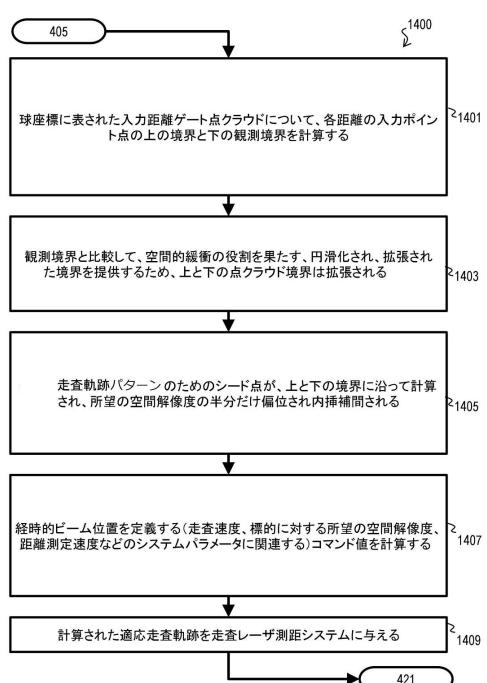
【図 1 3 A】



【図 1 3 B】



【図 1 4】



フロントページの続き

(72)発明者 レイベル , ランディ アール .
アメリカ合衆国 59718 モンタナ州 ボーズマン ウエスト・ブロードウォーター 357
0

(72)発明者 カリー , ジェームズ
アメリカ合衆国 59715 モンタナ州 ボーズマン サウス・ブラック・アベニュー 610

(72)発明者 バーグ , トレントン
アメリカ合衆国 59741 モンタナ州 マンハッタン ペーサー・ランディング・トレイル
325

審査官 藤田 都志行

(56)参考文献 特開2012-154863 (JP, A)
米国特許第09383753 (US, B1)
特開平11-153664 (JP, A)
特開2006-030147 (JP, A)
特開2001-050723 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G01S 7/48 - 7/51
G01S 17/00 - 17/95
G01C 3/06