

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6811862号  
(P6811862)

(45) 発行日 令和3年1月13日(2021.1.13)

(24) 登録日 令和2年12月17日(2020.12.17)

(51) Int.Cl.

F 1

GO 1 S	7/491	(2020.01)	GO 1 S	7/491
GO 1 S	17/34	(2020.01)	GO 1 S	17/34
GO 1 S	17/89	(2020.01)	GO 1 S	17/89
GO 1 S	17/931	(2020.01)	GO 1 S	17/931

請求項の数 15 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2019-527214 (P2019-527214)  
 (86) (22) 出願日 平成29年11月21日 (2017.11.21)  
 (65) 公表番号 特表2020-501130 (P2020-501130A)  
 (43) 公表日 令和2年1月16日 (2020.1.16)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2017/062714  
 (87) 國際公開番号 WO2018/125438  
 (87) 國際公開日 平成30年7月5日 (2018.7.5)  
 審査請求日 令和1年9月5日 (2019.9.5)  
 (31) 優先権主張番号 62/428,122  
 (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；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各々に割り当てられた、第2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；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】

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LIDARシステム。

**【請求項 3】**

第 1 の角解像度は、目標角解像度よりも大きい、請求項 2 に記載の L I D A R システム。

**【請求項 4】**

処理回路は、複数の第 1 の距離測定値または複数の第 2 の距離測定値のうち少なくとも 1 つを取得するべく、のこぎり歯状走査軌道を使用して走査するために、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 5】**

第 1 の角解像度は、第 2 の角解像度の約 10 ~ 100 倍である、請求項 1 に記載の L I D A R システム。

10

**【請求項 6】**

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 7】**

処理回路は、複数の第 2 の距離測定値を取得するべく、戻り信号がない角空間の走査を回避するために、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。

20

**【請求項 8】**

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 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；

30

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】**

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、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 の角解像度は、目標空間解像度よりも大きい、請求項 9 に記載の方法。

40

**【請求項 11】**

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、請求項 10 に記載の方法。

**【請求項 12】**

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、1 つ以上の走査光学装置を動作させる工程は、のこぎり歯状走査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 13】**

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

50

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、請求項9に記載の方法。

**【請求項14】**

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を動作させる工程は、戻り信号がない角空間の走査を回避するために1つ以上の走査光学装置を動作させる工程を含み、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る工程は、垂直角解像度として第1の角解像度、及び水平角解像度として第1の角解像度とは異なる第3の角解像度を使用する工程を含む、請求項9に記載の方法。

**【請求項15】**

10

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。

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【0001】**

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62/428,122の利益を主張するものであり、35U.S.C. § 119(e)に従って、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。

20

**【0002】**

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の契約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。

**【背景技術】**

**【0003】**

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現可能である。

30

**【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。チャーブ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、チャーブ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。

40

**【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、有用な光チャーブ帯域幅が実現された。最近のチャーブ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

50

, 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。

10

#### 【発明の概要】

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【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、走査レーザ測距システムを動作させる方法は、走査レーザ測距システムの視野内の目標最大距離にある物体に対する距離測定の目標空間解像度、および、このシステムに、目標最大距離での疎空間解像度を生成させる、システムの疎角解像度を決定することを含み、ここで、疎空間解像度は目標空間解像度より大きい。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、複数の疎距離測定値の距離ゲートサブセットを決定することを含み、ここで、距離ゲートサブセットにおける各距離測定値は、サブセットの最小距離以上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、以下の工程も含む。サブセットの第1の次元角のピンサイズは、第1の次元の疎角解像度に基づいて決定される。サブセットの第1の次元角のピンサイズによって離隔される、第1の次元の細密開始角と第1の次元の細密停止角が、決定される。複数の疎距離測定値のスライスが決定され、ここで、スライスにおける各距離測定値は、サブセットにおいて、第1の次元の細密開始角から第1の次元の細密停止角までである。スライスにおける最小の第2の次元角とスライスにおける最大の第2の次元角も、決定される。次に、走査レーザ測距システムを動作させて、スライスにおける第1の次元の細密角解像度で、かつ、スライスについての最小の第2の次元角と最大の第2の次元角の間で、第2の次元の細密角解像度で、複数の細密距離測定値を得る。第1のセットのうちのいくつかの実施形態では、第1の次元は、水平であり、第2の次元は、垂直である。

20

30

40

#### 【0009】

第1のセットのうちのいくつかの実施形態では、距離ゲートのサブセットにおける複数の隣接するスライスに対して、工程が反復される。

#### 【0010】

第1のセットのいくつかの実施形態では、サブセットの水平角ピンサイズは、最小垂直

50

角において、第1の水平角解像度の半分にほぼ等しい。

【0011】

第2のセットの実施形態において、システムは、レーザ源、スプリッタ、電気的波形生成器、2つの変調器、およびプロセッサを含む。スプリッタは、レーザ源からの光信号を、送信経路光信号と基準経路光信号に分割するように構成される。電気的波形生成器は、プロセッサから受信したデータに示された時間に、レーザ測距のための電気的波形を生成するように構成される。第1の光変調器は、電気的波形生成器からの第1の出力に基づいて、送信経路光信号に第1の光波形を課すように構成される。別の第2の光変調器は、電気的波形生成器からの第2の出力に基づいて、基準経路光信号に第2の光波形を課すように構成される。プロセッサは、電気的波形生成器からの第1の出力のための第1の時間、および、電気的波形生成器からの第2の出力のための第2の時間を示すデータを送るように構成される。10

【0012】

第2のセットのいくつかの実施形態では、第2の時間は、特徴距離を測定するために有利な基準経路遅延時間分だけ、第1の時間に比して、遅延される。

【0013】

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。

【0014】

さらに他の様様、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。20

【0015】

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】

【0016】

30

【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】実施形態に従って距離を示す、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。40

【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】実施形態に従って、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】実施形態に従って、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50

例示画像を示す図である。

【図 6 A】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 6 B】実施形態による、図 6 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 6 C】実施形態による、図 6 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 6 D】実施形態による、図 6 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 6 E】実施形態による、図 6 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。 10

【図 7 A】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 6 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 7 B】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 6 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。 20

【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である。

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0017】

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。 30

##### 【0018】

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。 40

##### 【0019】

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 50

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つの次元での低速運動、広大視野）、または組み合わせを用いる。

## 【0020】

## 1. チャープ検知の概要

10

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。

## 【0021】

20

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。

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

30

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。

40

## 【0022】

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。

## 【0023】

50

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。

#### 【 0024 】

脱チャープ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 、  $1 \text{ THz} = 10^{12}$  ヘルツ ) ではなく、無線周波数レンジであるメガヘルツ ( MHz 、  $1 \text{ MHz} = 10^6$  ヘルツ =  $10^6$  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プとの対比において ) 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、それ自身チャープである ( 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、Kacheler 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。この欠点は、デジタルイザ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。

#### 【 0025 】

図 1B は、実施形態による、脱チャープ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、さらに通常においては、ピーク値 ( 図 1B においては、約 -31 dB ) 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 -50 dB ) の差 157 ( 図 1B においては、約 19 dB ) 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 ( 国 1B においては、約 0.08 MHz ) ( 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, Massachusetts 所在の MATHWORKS ( 商標 ) の MATLAB ( 商標 ) から入手できる、MATLAB-Signal Processing Toolbox による FFTW 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 FFTW 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

10

20

30

40

50

精度高く決定することである。

#### 【0026】

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  $1 / ( \cdot + t_i )$  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、 $10^{-6} / (\cdot + t_i)$  である。

#### 【0027】

#### 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  $\tau$  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、基準ビームをブ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。

#### 【0028】

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。インター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

10

20

30

40

50

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 10 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。

#### 【0029】

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。

#### 【0030】

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、チャーブ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。 30

#### 【0031】

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 10 MHz ~ 5 THz 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 300 MHz ~ 約 20 GHz、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 ( $m\text{s}$ 、 $1\text{m}\text{s} = 10^{-3}\text{ 秒}$ )、標的までの距離が約 0 メートル ~ 20 キロメート 40

ル ( $k m$ 、 $1 km = 10^3 m$ )、標的におけるスポットサイズが約 3 ミリメートル ( $mm$ 、 $1 mm = 10^{-3} m$ ) ~ 1 メートル ( $m$ )、標的における深度解像度が約 7.5 mm ~ 0.5 m である。いくつかの実施形態では、標的是、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。プロセス、設備、およびデータ構造が、図 2 A および図 2 B 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。10

### 【0032】

#### 3. 適応走査の概要

図 3 A 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 ~ 20 cm）で最大約 1 キロメートル（例えば、0.5 ~ 2 km）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 3 B は、実施形態による、適応走査される図 3 A 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。20

### 【0033】

適応走査の利点を図 3 C に図示する。図 3 C は、実施形態による、図 3 B 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 3 C 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  $\theta$  は、式 2 に与えられる、物体への距離  $R$  の関数である。30

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

比  $s/R$  の値が小さい場合には、 $\theta \approx s/R$  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  $\theta \approx s/R$  が用いられる。近距離  $R_{near}$  から遠距離  $R_{far}$  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 2 b を得る。40

$$\theta \approx \arctan(s/R_{far}) \quad (2b)$$

小さい角の近似が有効である場合には、式 2 b の近似式 2 c を用いる。

$$\theta \approx s/R_{far} \quad (2c)$$

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50

のために、計算された  $\theta$  は必ずビーム角幅より大きいと仮定する。

#### 【0034】

式 2 a ~ 2 c 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 LIDA 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、 $\theta$  に設定される。10

#### 【0035】

疎走査の結果として、 $\theta$  を水平方向（方位）走査角とし、 $\phi$  を垂直方向（仰角）走査角とすると、疎最小水平角  $m_i n$  から疎最大水平角  $m a x$  まで、かつ、疎最小垂直角  $m i n$  から疎最大垂直角  $m a x$  までの、すべての水平角について、多様な距離  $R(\theta, \phi)$  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  $R(\theta, \phi)$  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、 $R G n$  という名称のセットの要素であり、式 3 を満たす。20

$$R_{near_n} < R_{far_n} \quad (3) \quad \text{30}$$

値  $R_{near_n}$  は、下のような命令を使用して、距離  $R(\theta, \phi)$  とそれに関連する角座標  $(\theta, \phi)$  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  $r = m i n$  to  $m a x$ ,  $n = m i n$  to  $m a x$ 
   $N = 0$ 
  for  $i = 1$  to  $N$ , if  $R(\theta, \phi) < R_{near_i}$ , then  $n = i$ 
    add  $R(\theta, \phi)$  to set  $R G n$ 
```

そこで、距離ゲートのセットにおけるすべての各座標  $(\theta, \phi)$  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

#### 【0036】

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50

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。

#### 【 0 0 3 7 】

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。

10

#### 【 0 0 3 8 】

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  $1 \text{ cm}$  以上であり、これに対して、実験的撮像装置にとって、やや大きな最終的解像度とみなされるのが、標的に対して  $10 \text{ cm}$  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。

20

#### 【 0 0 3 9 】

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。

30

#### 【 0 0 4 0 】

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

40

50

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、 $N = \text{modulus}(\cdot R_{99} - R_5, M^*)$ 、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、LIDAR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10、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。

#### 【0041】

工程411では、各距離ゲートの点のセットRGn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RGn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、Rfar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、Rfar\_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AHR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、AHRは2に設定される。しかし、他の実施形態では、Rnear\_nとRfar\_nの間にあるものと定義される中距離Rmid\_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。20

#### 【0042】

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 $t_{Lo_n}$ は、n番目の距離ゲートRGnの距離ゲート距離RGKn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、RGKnは、Rnear\_n、または、式4に従って、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。30

$$t_{Lo_n} = RGKn / c \quad (4)$$

#### 【0043】

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 $t_{Lo_n}$ を課す。40

#### 【0044】

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50

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。

#### 【0045】

##### 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。<sup>10</sup>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<sup>20</sup>に、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/デジタイザ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。

#### 【0046】

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。

#### 【0047】

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型適応スキヤナを備えた。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。

#### 【0048】

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

10

20

30

40

50

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。

#### 【0049】

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1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、  
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  $0.06^\circ$ ) の解像度と、垂直方向に  $10^{-4} \text{ rad}$  (約  $0.006^\circ$ ) 以下の解像度を有する。水平軸 632 は、方位角  $\theta$  を示し、これは  $-0.2^\circ \sim +0.2 \text{ rad}$  で、約  $-11.5^\circ \sim +11.5^\circ$  に対応する。垂直軸は、仰角  $\phi$  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  $-0.12^\circ \sim 0 \text{ rad}$  の範囲であり、約  $-7^\circ$  から  $0^\circ$  、すなわち、水平までである。 $-0.05 \text{ rad}$  (約  $-3^\circ$ ) 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  $\Delta\theta$  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  $-0.12 \text{ rad}$  から、破線 636 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  $-0.05 \text{ rad}$  未満について、それぞれ、 $-0.2 \text{ rad}$  と  $+0.2 \text{ rad}$  である。

#### 【0050】

同様に、図 6C 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 644 は、約  $-0.06 \text{ rad} \sim 0.11 \text{ rad}$  の範囲であり、これは約  $-3.5^\circ \sim 6.3^\circ$  に一致する。第1の距離ゲートの最大仰角である  $-0.05 \text{ rad}$  (約  $-3^\circ$ ) 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 645 によって示され、 $0 \text{ rad}$  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 645 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  $\Delta\theta$  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  $-0.5 \text{ rad}$  から、各方位角  $\theta$  において単一の値である、破線 646 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  $\phi$  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。

#### 【0051】

図 6D 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 650 である。垂直軸 654 は、約  $-0.01 \text{ rad}$  から約  $0.11 \text{ rad}$  まで延び、約  $-0.6^\circ \sim 6.3^\circ$  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  $-0.01 \text{ rad}$  (約  $-0.6^\circ$ ) 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 655 によって示され、約  $0 \text{ rad}$  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 2a または式 2c とともに、角解像度  $\Delta\theta$  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 658 によって与えられた最小垂直角と、各方位角  $\theta$  において単一の値である、破線トレース 656 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  $\phi$  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。

#### 【0052】

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 660 である。垂直軸 664 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 rad から約 0.08 rad まで伸び、約 0° ~ 約 4.5° に一致する。約 0 rad 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 665 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 0.01 rad の地面レベルを表している。黒マスクエリア 665 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  $\theta$  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 658 によって与えられた最小垂直角と、各方位角  $\phi$  において単一の値である、破線トレース 668 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  $\alpha$  において、各々、単一の値である。最小方位角は、林の左手に伸び、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 0.20 rad 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、高精度走査から除外しないことは留意すべきである。点線 669 は、図 7 A と図 7 B に高精度走査軌跡で表示されたエリアの水平部分を示す。

#### 【0053】

図 7 A と図 7 B 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 6 E 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 0.005 rad 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 6 E 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 -0.01 rad ~ 約 0.06 rad 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 6 E 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 7 A 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 0.0005 rad (0.01 rad 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  $\theta$  に等しいと仮定すると、 $\theta$  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。

#### 【0054】

図 7 B 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 7 B では、図 7 A を作成するためには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 7 B では、水平反復離隔角  $A_{HR}$  は、約 0.003 rad であり(0.01 rad 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 7 A 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、 $\theta$  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。

#### 【0055】

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。

#### 【0056】

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  $1/10 \sim 1/100$ 、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。

10

#### 【0057】

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。

20

#### 【0058】

##### 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800の例示のプロック図である。コンピュータシステム800は、コンピュータシステム800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810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（qubit）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800、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。

30

#### 【0059】

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810は、情報がバス800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802が、バス810に接続される。プロセッサ802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810から除法を取り込むこと、および、バス810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802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。

40

#### 【0060】

コンピュータシステム800はまた、バス810に接続されたメモリ804を含む。ランダムアクセスメモリ（RAM）またはその他の動的記憶デバイスなどのメモリ804は

50

、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 800 によって変更されることを可能にする。RAM 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 804 はまた、プロセッサ 802 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 800 はまた、コンピュータシステム 800 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 810 に接続された読み出し専用メモリ (ROM) 806、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 800 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。

#### 【0061】

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。

#### 【0062】

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ーフェースなどがある。

#### 【0063】

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キング 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デムである。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デルである。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

10

20

30

40

50

光の信号を含む、電磁気の信号を送受する。

【0064】

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。10

【0065】

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。20

【0066】

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、ASIC820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。

【0067】

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。30

【0068】

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。40

【0069】

ネットワークリンク878、および通信インタフェース870を介する他のネットワー50

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。10

#### 【0070】

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。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。20

#### 【0071】

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、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。30

#### 【0072】

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、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（DSP）907、または1つ以上の特定用途向け集積回路（ASIC）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

S P 9 0 7 は、典型的には、プロセッサ 9 0 3 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 9 0 9 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。

#### 【 0 0 7 3 】

プロセッサ 9 0 3 および付随するコンポーネントは、バス 9 0 1 を介するメモリ 9 0 5 への接続能力を有する。メモリ 9 0 5 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、R A M、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、R O M、C D - R O M 等）の両方を含む。メモリ 9 0 5 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。

#### 【 0 0 7 4 】

##### 6 . 变形、拡張、および修正

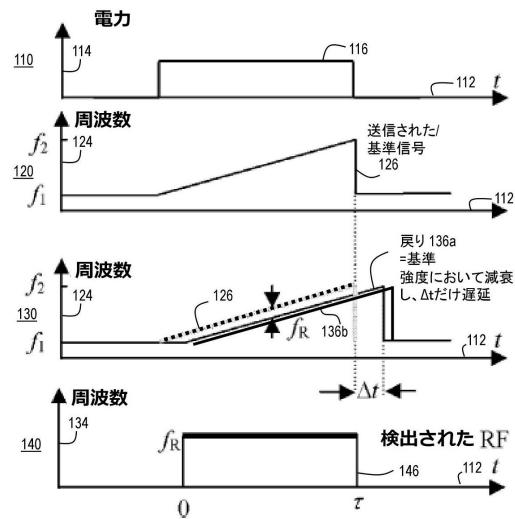
以上の明細において、本発明は、特定の実施形態に照らして記述された。しかし、本発明の広い精神と範囲から逸脱することなく、本発明に様々な修正および変更を加え得ることは明らかであろう。したがって、明細書および図面は、制限的意味ではなく、例示的意味を有するとみなされなければならない。本明細書および請求の範囲を通じて、文脈から別の意味に解すべき場合を除き、c o m p r i s e、ならびに、c o m p r i s e s およびc o m p r i s i n g など、その変形は、述べられた項目、要素、あるいは工程、または、項目、要素、あるいは工程の集まりを含むと解されるが、任意のその他の項目、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 a n 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。

#### 【 0 0 7 5 】

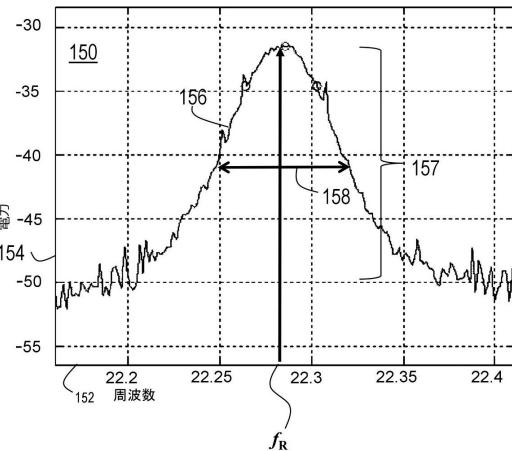
##### 7 . 参考文献

- 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.

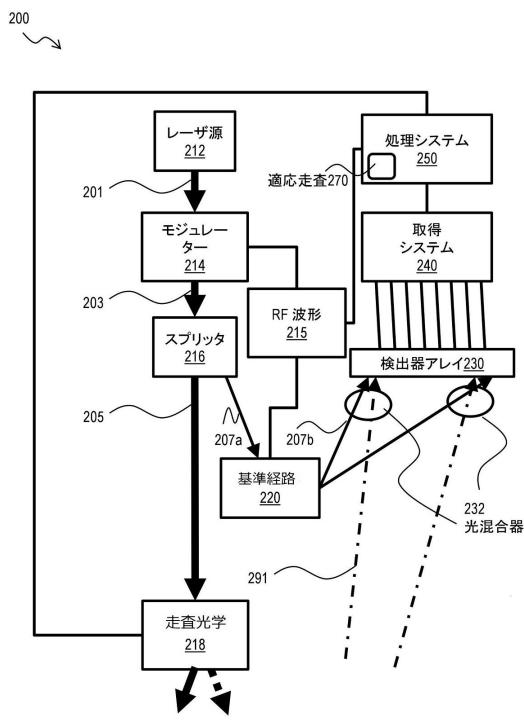
【図1A】



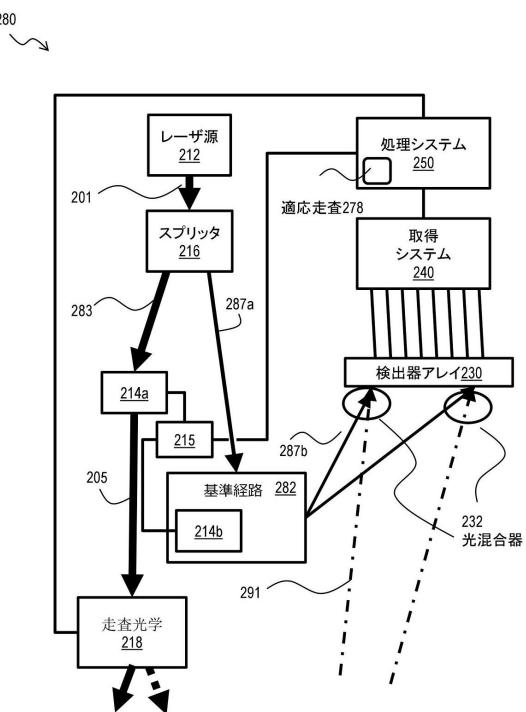
【図1B】



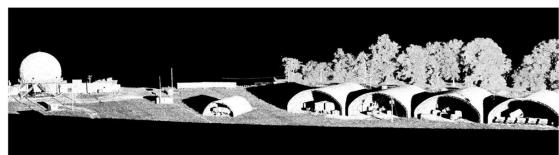
【図2A】



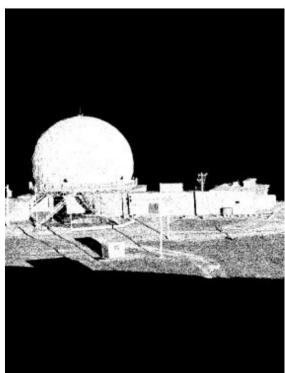
【図2B】



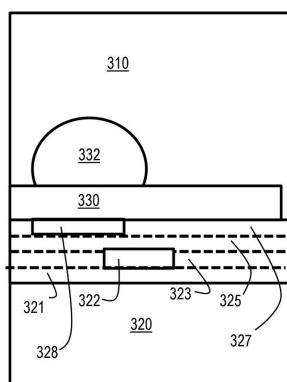
【図3A】



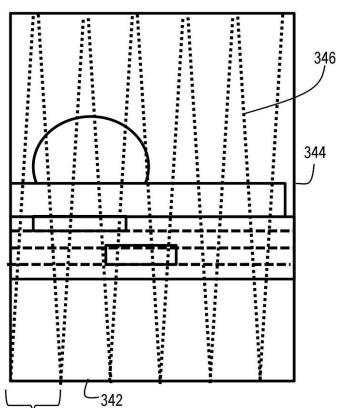
【図3B】



【図3C】

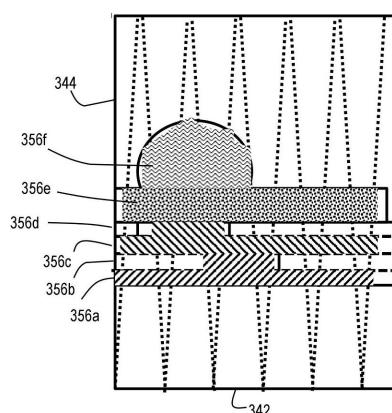


【図3D】

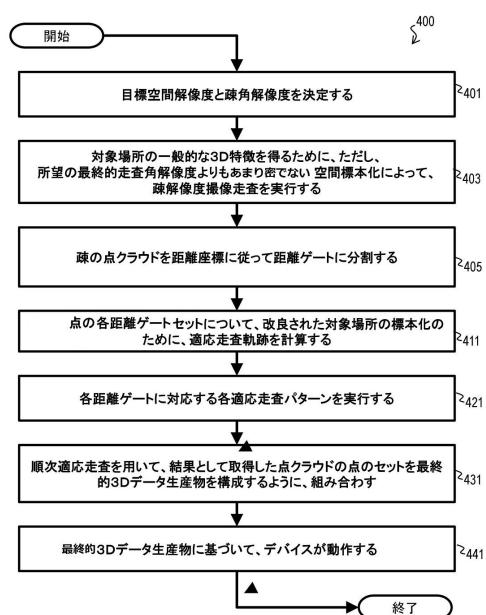


水平方向の  
反復離隔角,  $\Delta_{HR}$   
347

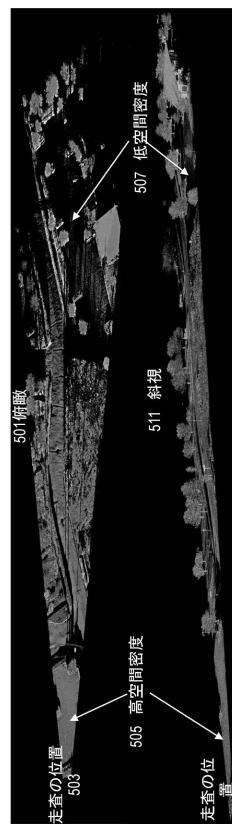
【図3E】



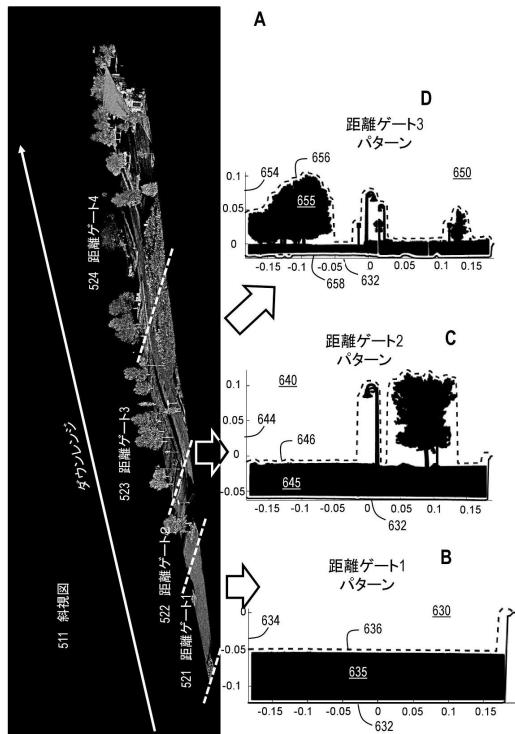
【図4】



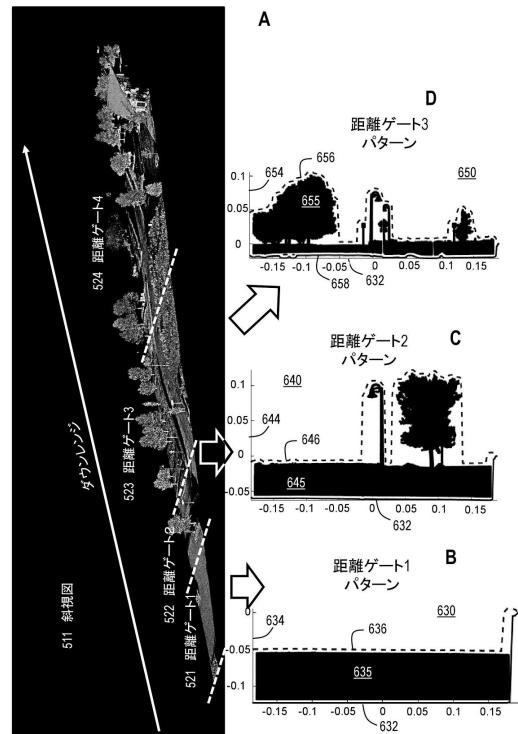
【図5】



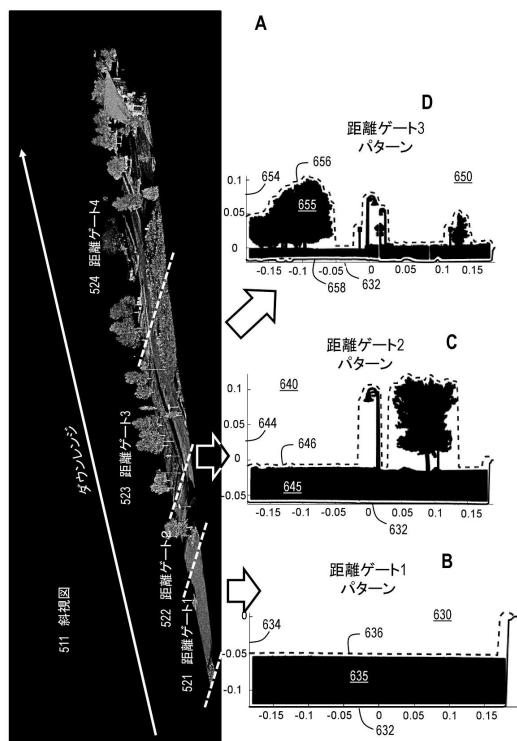
【図6 A】



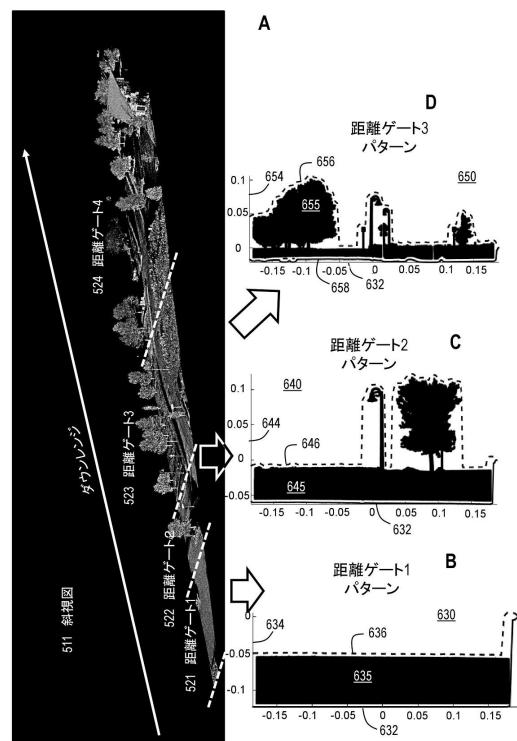
【図6 B】



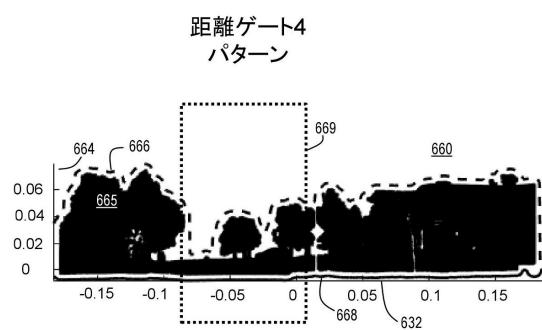
【図 6 C】



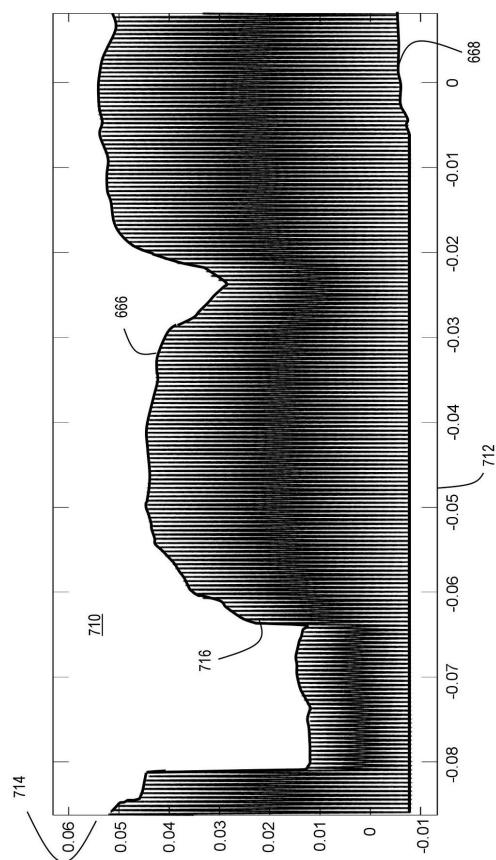
【図 6 D】



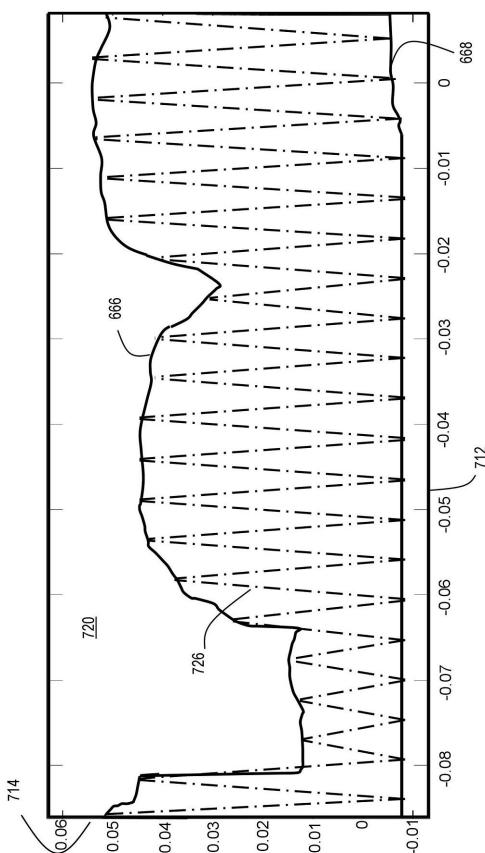
【図 6 E】



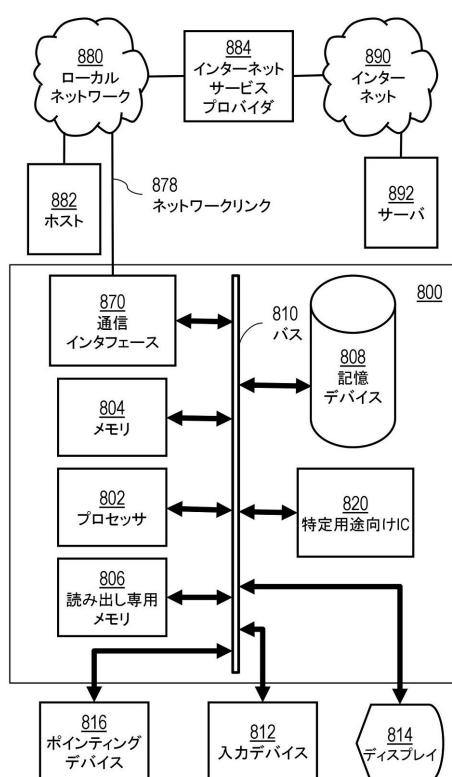
【図 7 A】



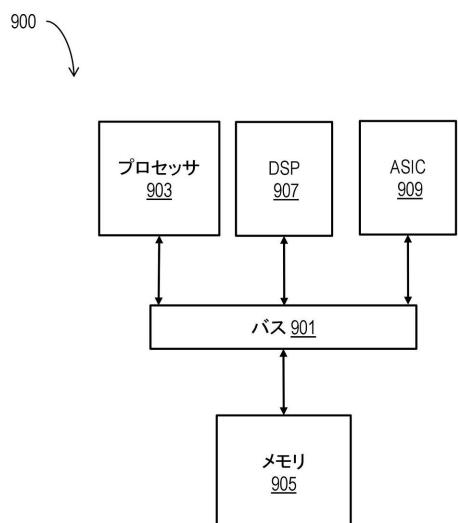
【図 7 B】



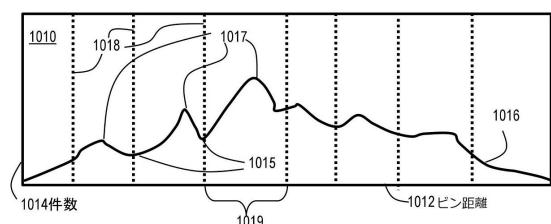
【図 8】



【図 9】



【図 10】



---

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 東 治企

(56)参考文献 特開2012-154863 (JP, A)

特開平05-012414 (JP, A)

特開2008-241273 (JP, A)

特開2002-022425 (JP, A)

特開平11-153664 (JP, A)

米国特許出願公開第2016/0245903 (US, A1)

米国特許第9383753 (US, B1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G01S 7/48 - 7/51

G01S 17/00 - 17/95

G01C 3/00 - 3/32

G01B 11/00 - 11/30

G08G 1/16