

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6789926号
(P6789926)

(45) 発行日 令和2年11月25日 (2020. 11. 25)

(24) 登録日 令和2年11月6日 (2020. 11. 6)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 S 7/484 (2006. 01)
GO 2 B 26/10 (2006. 01)
GO 2 B 26/12 (2006. 01)
GO 1 S 7/481 (2006. 01)

GO 1 S 7/484
GO 2 B 26/10 C
GO 2 B 26/10 1 O 4 Z
GO 2 B 26/12
GO 1 S 7/481 A

請求項の数 24 (全 52 頁)

(21) 出願番号 特願2017-510409 (P2017-510409)
(86) (22) 出願日 平成27年8月14日 (2015. 8. 14)
(65) 公表番号 特表2017-530343 (P2017-530343A)
(43) 公表日 平成29年10月12日 (2017. 10. 12)
(86) 国際出願番号 PCT/US2015/045399
(87) 国際公開番号 W02016/025908
(87) 国際公開日 平成28年2月18日 (2016. 2. 18)
審査請求日 平成30年8月10日 (2018. 8. 10)
(31) 優先権主張番号 62/038, 065
(32) 優先日 平成26年8月15日 (2014. 8. 15)
(33) 優先権主張国・地域又は機関
米国 (US)

(73) 特許権者 517052242
エイアイ インコーポレイテッド
A E Y E, Inc.
アメリカ合衆国 イリノイ フェアビュー
ハイツ エグゼクティブ ドライブ 8
スイート 120
8 Executive Dr., Suite 120, Fairview Heights, IL 62208, United States of America
(74) 代理人 100114890
弁理士 アインゼル・フェリックス＝ライ
ンハルト

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 LADAR伝送のための方法及びシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

走査 LADAR 伝送システムによってターゲティングするための複数のレンジポイントを含むショットリストを処理し、

前記処理されたショットリストの前記レンジポイントをターゲティングするために、第1のミラーおよび第2のミラーの少なくとも一方のミラー走査位置の閉ループフィードバック制御を使用して、複数の前記ミラー走査位置に前記第1のミラーおよび前記第2のミラーを走査することによって、前記走査 LADAR 伝送システムのための動的走査パターンを制御し、前記制御では、

第1の制御信号を用いて前記第1のミラーを走査し、第1の軸に対して前記第1のミラーを走査することで、前記第1の軸に沿って前記走査 LADAR 伝送システムをターゲティングし、

第2の制御信号を用いて前記第2のミラーを走査し、前記第1の軸に垂直な第2の軸に対して前記第2のミラーを走査することで、前記第2の軸に沿って前記走査 LADAR 伝送システムをターゲティングし、前記第1および第2のミラーのための前記ミラー走査位置の組み合わせは、前記走査 LADAR 伝送システムがターゲティングされる前記レンジポイントを定義し、前記第2の制御信号は、前記処理されたショットリストの関数として変化し、ポイントツーポイントモードにおいて前記第2のミラーを走査し、

前記第1および第2のミラーを含む前記制御された走査 LADAR 伝送システムによって、複数の LADAR パルスを前記動的走査パターンに従って前記処理されたショットリ

10

20

ストの前記レンジポイントに向けて伝送し、

前記動的走査パターンは、前記処理されたショットリストに基づくインターラインスキップを含む、
方法。

【請求項 2】

走査 L A D A R 伝送システムによってターゲティングするための複数のレンジポイントを含むショットリストを処理し、

前記処理されたショットリストの前記レンジポイントをターゲティングするために、第 1 のミラーおよび第 2 のミラーの少なくとも一方のミラー走査位置の閉ループフィールドバック制御を使用して、複数の前記ミラー走査位置に前記第 1 のミラーおよび前記第 2 のミラーを走査することによって、前記走査 L A D A R 伝送システムのための動的走査パターンを制御し、前記制御では、

第 1 の制御信号を用いて前記第 1 のミラーを走査し、第 1 の軸に対して前記第 1 のミラーを走査することで、前記第 1 の軸に沿って前記走査 L A D A R 伝送システムをターゲティングし、

第 2 の制御信号を用いて前記第 2 のミラーを走査し、前記第 1 の軸に垂直な第 2 の軸に対して前記第 2 のミラーを走査することで、前記第 2 の軸に沿って前記走査 L A D A R 伝送システムをターゲティングし、前記第 1 および第 2 のミラーのための前記ミラー走査位置の組み合わせは、前記走査 L A D A R 伝送システムがターゲティングされる前記レンジポイントを定義し、前記第 2 の制御信号は、前記処理されたショットリストの関数として変化し、ポイントツーポイントモードにおいて前記第 2 のミラーを走査し、

前記第 1 および第 2 のミラーを含む前記制御された走査 L A D A R 伝送システムによって、複数の L A D A R パルスを前記動的走査パターンに従って前記処理されたショットリストの前記レンジポイントに向けて伝送し、

前記動的走査パターンは、前記処理されたショットリストに基づくインターラインの迂回を含む、
方法。

【請求項 3】

さらに、

環境シーンを表すアプリアリデータを受信し、

前記アプリアリデータを処理し、

前記処理に基づいて、前記環境シーン内の複数のレンジポイントを選択し、前記選択されたレンジポイントは、前記環境シーンの全て未満に対応し、

前記ショットリストが前記環境シーンの全て未満を含むように、前記選択されたレンジポイントを前記ショットリストに翻訳し、

前記アプリアリデータを処理し、選択し、作成することは、プロセッサによって実行される、

請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記アプリアリデータは、前記環境シーンの画像を含み、前記画像は、複数の画像ポイントを含み、選択することは、前記プロセッサが前記画像ポイントにレンジポイントダウン選択アルゴリズムを適用して、前記画像ポイントのサブセットを前記レンジポイントとして選択することを含む、

請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

さらに、複数のフレームのためにそれぞれの動作を繰り返し、前記ショットリストは、フレームごとに変化する、

請求項 1 から 4 のいずれかに記載の方法。

【請求項 6】

前記第 1 の制御信号は、前記第 1 のミラーに共振モードにおいて複数の方向で走査させ

10

20

30

40

50

る、

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記第 1 の制御信号は、前記第 1 のミラーに非共振モードにおいて 1 つの方向で走査させる、

請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記第 2 のミラーは、前記第 1 のミラーの下流に光学的に位置決めされ、前記伝送された L A D A R パルスは、前記第 1 のミラーから前記第 2 のミラーに、および、前記第 2 のミラーから前記ターゲティングされたレンジポイントに向けて反射される、

請求項 1 から 7 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9】

前記第 1 および第 2 のミラーは、マイクロ電気機械システム (M E M S) ミラーを備える、

請求項 1 から 8 のいずれかに記載の方法。

【請求項 10】

走査 L A D A R 伝送システムを備える装置であって、

前記走査 L A D A R 伝送システムは、ビームスキャナと、ビームスキャナ制御装置と、閉ループフィードバックシステムと、を備え、

前記ビームスキャナは、第 1 のミラーおよび第 2 のミラーを含み、前記ビームスキャナは、(1) 第 1 の制御信号に応答して、前記第 1 のミラーを第 1 の軸に対して複数の第 1 のミラー走査位置に走査するように構成され、前記ビームスキャナは、(2) 第 2 の制御信号に応答して、前記第 2 のミラーを第 2 の軸に対して複数の第 2 のミラー走査位置に走査するように構成され、前記第 2 の軸は、前記第 1 の軸に垂直であり、前記第 1 および第 2 のミラー走査位置の組み合わせは、前記走査 L A D A R 伝送システムがターゲティングされるレンジポイントを定義し、前記ビームスキャナは、(3) 複数の入射する L A D A R パルスを複数のレンジポイントに向けて前記 L A D A R パルスを伝送するための前記走査する第 1 および第 2 のミラーへ導くように構成され、

前記ビームスキャナ制御装置は、前記第 1 および第 2 の制御信号が、ショットリスト上の複数のレンジポイントのターゲティングに対して前記走査 L A D A R 伝送システムのための動的走査パターンを定義するように、前記ビームスキャナのための前記第 1 および第 2 の制御信号を作成するように構成され、前記ビームスキャナ制御装置は、前記第 2 の制御信号を作成し、前記ショットリスト上の前記レンジポイントに基づいて、ポイントツーポイントモードにおいて前記第 2 のミラーを複数の方向に走査させるようにさらに構成され、

前記閉ループフィードバックシステムは、前記ビームスキャナおよび前記ビームスキャナ制御装置と動作通信し、前記閉ループフィードバックシステムは、(1) 前記第 1 および第 2 のミラーの少なくとも一方を監視するように構成され、前記監視は、前記監視された少なくとも一方のミラーのための複数の実ミラー走査位置を感知することにより行われ、前記閉ループフィードバックシステムは、(2) フィードバック信号を前記ビームスキャナ制御装置に提供するように構成され、前記フィードバック信号は、前記監視された少なくとも一方のミラーのための前記実ミラー走査位置を示し、前記ビームスキャナ制御装置によって前記フィードバック信号を用いて、前記第 1 および / または第 2 の制御信号を前記監視された少なくとも一方のミラーのために調整し、前記伝送された L A D A R パルスを前記レンジポイントに向けてターゲティングし続け、

前記制御信号は、インターラインスキップを含む動的走査パターンを定義する、装置。

【請求項 11】

走査 L A D A R 伝送システムを備える装置であって、

前記走査 L A D A R 伝送システムは、ビームスキャナと、ビームスキャナ制御装置と、

閉ループフィードバックシステムと、を備え、

前記ビームスキャナは、第 1 のミラーおよび第 2 のミラーを含み、前記ビームスキャナは、(1) 第 1 の制御信号に応答して、前記第 1 のミラーを第 1 の軸に対して複数の第 1 のミラー走査位置に走査するように構成され、前記ビームスキャナは、(2) 第 2 の制御信号に応答して、前記第 2 のミラーを第 2 の軸に対して複数の第 2 のミラー走査位置に走査するように構成され、前記第 2 の軸は、前記第 1 の軸に垂直であり、前記第 1 および第 2 のミラー走査位置の組み合わせは、前記走査 L A D A R 伝送システムがターゲティングされるレンジポイントを定義し、前記ビームスキャナは、(3) 複数の入射する L A D A R パルスを複数のレンジポイントに向けて前記 L A D A R パルスを伝送するための前記走査する第 1 および第 2 のミラーへ導くように構成され、

10

前記ビームスキャナ制御装置は、前記第 1 および第 2 の制御信号が、ショットリスト上の複数のレンジポイントのターゲティングに対して前記走査 L A D A R 伝送システムのための動的走査パターンを定義するように、前記ビームスキャナのための前記第 1 および第 2 の制御信号を作成するように構成され、前記ビームスキャナ制御装置は、前記第 2 の制御信号を作成し、前記ショットリスト上の前記レンジポイントに基づいて、ポイントツーポイントモードにおいて前記第 2 のミラーを複数の方向に走査させるようにさらに構成され、

前記閉ループフィードバックシステムは、前記ビームスキャナおよび前記ビームスキャナ制御装置と動作通信し、前記閉ループフィードバックシステムは、(1) 前記第 1 および第 2 のミラーの少なくとも一方を監視するように構成され、前記監視は、前記監視された少なくとも一方のミラーのための複数の実ミラー走査位置を感知することにより行われ、前記閉ループフィードバックシステムは、(2) フィードバック信号を前記ビームスキャナ制御装置に提供するように構成され、前記フィードバック信号は、前記監視された少なくとも一方のミラーのための前記実ミラー走査位置を示し、前記ビームスキャナ制御装置によって前記フィードバック信号を用いて、前記第 1 および / または第 2 の制御信号を前記監視された少なくとも一方のミラーのために調整し、前記伝送された L A D A R パルスを前記レンジポイントに向けてターゲティングし続け、

20

前記制御信号は、インターラインの迂回を含む動的走査パターンを定義する、装置。

【請求項 1 2】

30

前記閉ループフィードバックシステムは、閉ループ光学フィードバックシステムを備える、請求項 1 0 または 1 1 に記載の装置。

【請求項 1 3】

前記閉ループ光学フィードバックシステムは、前記第 1 および第 2 のミラーに光を導くように構成されるフィードバック光源と、(1) 前記導かれた光の反射光を感知し、(2) 前記感知された偏向に基づいて、前記第 1 および第 2 のミラーについて実走査位置を示すデータを作成するように構成される位置検出装置と、を備える、請求項 1 2 に記載の装置。

40

【請求項 1 4】

前記第 1 および第 2 のミラーは、マイクロ電気機械システム (M E M S) ミラーを備える、請求項 1 0 から 1 3 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 5】

前記ビームスキャナ制御装置は、前記第 1 のミラーに共振モードにおいて複数の方向で走査させるために、前記第 1 の制御信号を作成するようにさらに構成される、請求項 1 0 から 1 4 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 6】

50

前記ビームスキャナ制御装置は、前記第１のミラーに非共振モードにおいて１つの方向で走査させるために、前記第１の制御信号を作成するようにさらに構成される、
請求項１０から１４のいずれかに記載の装置。

【請求項１７】

前記閉ループフィードバックシステムは、（１）前記第１および第２のミラーのための複数の実ミラー走査位置を感知し、（２）前記第１のミラーのための前記実ミラー走査位置を示す第１のフィードバック信号を前記ビームスキャナ制御装置に提供し、（３）前記第２のミラーのための前記実ミラー走査位置を示す第２のフィードバック信号を前記ビームスキャナ制御装置に提供するようにさらに構成され、前記ビームスキャナ制御装置によって前記第１および第２のフィードバック信号を用いて、前記第１および第２の制御信号をそれぞれ調整し、前記伝送されたＬＡＤＡＲパルスを前記レンジポイントに向けてターゲットングし続ける、

10

請求項１０から１６のいずれかに記載の装置。

【請求項１８】

前記ビームスキャナ制御装置は、（１）速軸ミラーとして前記第１のミラーを動作させるために前記第１の制御信号を作成し、（２）遅軸ミラーとして前記第２のミラーを動作させるために前記第２の制御信号を作成するようにさらに構成される、

請求項１０から１７のいずれかに記載の装置。

【請求項１９】

前記第２のミラーは、前記第１のミラーよりも大きいミラー面積を有する、
請求項１８に記載の装置。

20

【請求項２０】

前記装置は、光源と、光学素子と、伝送光学系と、をさらに備え、
前記光源は、複数の発射コマンドに応答して、前記ＬＡＤＡＲパルスを生成するように構成され、

前記光学素子は、前記光源と前記ビームスキャナとの間に位置決めされ、前記ビームスキャナの前記ミラーへ前記ＬＡＤＡＲパルスを導くように構成され、

前記伝送光学系は、前記ビームスキャナの下流に光学的に位置決めされ、前記ＬＡＤＡＲパルスを前記レンジポイントに向けて伝送するように構成され、

前記ビームスキャナ制御装置は、前記動的走査パターンを定義するために、前記ビームスキャナのための前記制御信号と協調して、前記光源に複数の発射コマンドを提供するようにさらに構成される、

30

請求項１０から１９のいずれかに記載の装置。

【請求項２１】

前記第２のミラーは、前記第１のミラーの下流に光学的に位置決めされ、前記導かれたＬＡＤＡＲパルスは、前記第１のミラーから前記第２のミラーに反射され、前記導かれたＬＡＤＡＲパルスは、前記第２のミラーから前記ターゲットングされたレンジポイントに向けて反射される、

請求項１０から２０のいずれかに記載の装置。

【請求項２２】

40

前記第１のミラーは、速軸ミラーであり、前記第２のミラーは、遅軸ミラーである、
請求項２１に記載の装置。

【請求項２３】

前記装置は、プロセッサをさらに備え、前記プロセッサは、
環境シーンを表すアプリアリデータを受信し、
前記アプリアリデータを処理し、
前記処理に基づいて、ポイント群を定義するために、前記環境シーン内の複数のレンジポイントを選択し、前記選択されたレンジポイントは、前記環境シーンの全て未満に対応し、前記定義されたポイント群は、前記選択されたレンジポイントを含み、

前記ショットリストが前記環境シーンの全て未満を含むように、前記ポイント群を前記

50

ショットリストに翻訳する、
ように構成される、
請求項 10 から 22 のいずれかに記載の装置。

【請求項 24】

前記ビームスキャナおよびビームスキャナ制御装置は、複数のフレームのためそれぞれの動作を繰り返すようにさらに構成され、前記ショットリストは、フレームごとに変化する、

請求項 10 から 23 のいずれかに記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

関連特許出願の相互参照及び優先権主張

本出願は、2014年8月15日に出願された、米国仮特許出願第62/038,065号に対する優先権を主張するものであり、その開示全体が参照により本明細書に組み込まれる。

【背景技術】

【0002】

導入

当技術分野、特に、自動車コンピュータビジョンなどの領域において、改善されたコンピュータビジョン技術に対する大きなニーズがあると考えられる。しかしながら、限定され
ないが、自律的なプラットフォームビジョン（例えば、空気、土地（地下を含む）、水（水中を含む）、及び宇宙空間、例えば自律的な陸上車両、自律的な空中車両等）、監視（例えば、国境警備、空中無人機モニタリング等）、マッピング（例えば、地下トンネルのマッピング、空中無人機によるマッピング等）、目標認識アプリケーション、リモートセンシング、安全警報（例えば、運転者に対して）など）を含む、多種多様な分野にわたって、改善されたコンピュータビジョン技術に対する要望が至るところに存在するために、これらのニーズは、自動車コンピュータビジョン市場に限定されるものではない。

20

【0003】

本明細書で使用する場合、「LADAR」という用語は、レーザレーダ、レーザ検出及び測距、ならびに光検出及び測距（「ライダー（l i d a r）」）のいずれかを指し、かつ包含する。LADARは、コンピュータビジョンに関連して広く使用される技術である。例示的なLADARシステムにおいて、レーザ源を含む伝送装置は、LADARパルスなどのレーザ出力を近隣の環境へ伝送する。その後、LADAR受信装置は、近隣の環境におけるオブジェクトからこのレーザ出力の反射光を受信し、LADAR受信装置は、受信された反射光を処理して、このようなオブジェクトまでの距離（レンジ情報）を決定する。このレンジ情報に基づいて、障害物回避シナリオ、中間地点の決定等における経路計画などのことを計算することを望むホストプロセッサによって、環境のジオメトリのより明白な理解を得ることができる。しかしながら、コンピュータビジョン問題に対する従来のLADAR解決策は、高コスト、大型、大重量及び大電力要件、ならびに大規模なデータ帯域幅使用に悩まされている。この最適な例は、車両の自律性である。これらの複雑な要素が、短距離視覚、狭視野、及び／または遅い再訪率しか要しない高価なアプリケーションに対するそれらの効果的な使用を大きく制限してきた。

30

40

【0004】

例えば、LADAR伝送装置が多数のレンジポイントを同時に照射するLADARシステムは、当技術分野において既知である。フラッシュLADARは、このようなシステムの例である。しかしながら、これらの従来のシステムは、多数の欠点に悩まされていると考えられる。例えば、フラッシュLADARシステムは、パルスレーザ当たりで非常に高いエネルギーを必要とし、これは高コストだけでなく、目に有害にもなり得る。さらに、フラッシュLADARシステムのための読み出し集積回路は、典型的にかなり雑音が多い。また、フラッシュLADARシステムについての広視野の信号対雑音比（SNR）は、

50

典型的に非常に低く、これは短距離となり、これによって、その有用性を損なう。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

当技術分野における改善されたLADARベースのコンピュータビジョン技術に対するニーズを満たす試みにおいて、新規及び革新的な方策において走査LADAR伝送のコンセプトを適用する方法及びシステムのための多数の実施形態が本明細書において開示される。非ターゲティングのフラッシュ照明を主に用いるのとは対照的に、走査LADARが、LADARパルスをターゲティングされたレンジポイントに順次伝送するという点で、走査LADARはフラッシュLADARと異なる。従来の走査LADARは、フラッシュLADARとの関連で遭遇する多くの問題を解決するが、従来の走査LADARシステムは、典型的に、かさばりフレームレートの限界に悩まされている。当技術分野におけるさらなる進歩を提供する試みにおいて、改善された走査LADAR伝送技術が本明細書において開示される。

10

【課題を解決するための手段】

【0006】

例えば、(1)走査LADAR伝送システムによってターゲティングするための複数のレンジポイントを含むショットリストを処理することと、(2)処理されたショットリストのレンジポイントをターゲティングするために、ミラー走査位置の閉ループフィードバック制御を使用して、処理されたショットリストに基づいて複数のミラー走査位置にミラーを走査することによって、走査LADAR伝送システムのための動的走査パターンを制御することであって、ミラー走査位置が、走査LADAR伝送システムがターゲティングされる場所を定義する、制御することと、(3)制御された走査LADAR伝送システムによって、複数のLADARパルスを動的走査パターンに従って処理されたショットリストのレンジポイントに向けて伝送することと、を含む、方法が本明細書において開示される。

20

【0007】

例示的な実施形態において、走査位置は、可動ミラーのための走査角度であり、これによって、可動ミラーは、軸周りを回転し、その走査角度を変化させる。しかしながら、走査位置は、走査角度に限定される必要はなく、他の実施形態は、システムがターゲティングされる場所を定義するために、横方向及び/または仰角方向において可動ミラーを走査し得ることを理解すべきである。

30

【0008】

別の例示的な実施形態として、(1)(i)第1の電圧波形に基づいて、第1の軸上の第1のミラーを走査すること、及び(ii)ターゲティングされたレンジポイントの関数である、第2の電圧波形に基づいて、第2の軸上の第2のミラーを走査することによって、動的走査パターンに従って、複数のレンジポイントに走査LADAR伝送システムをターゲティングすることと、(2)走査ミラーによって、動的走査パターンに従って複数のLADARパルスをターゲティングされたレンジポイントに伝送することと、(3)走査ミラーのうちの少なくとも1つに対する閉ループフィードバック制御に基づいて、第1及び第2の電圧波形のうちの少なくとも1つを調整することと、を含む方法が本明細書において開示される。

40

【0009】

さらにまた、別の例示的な実施形態として、走査LADAR伝送システムを備える装置であって、走査LADAR伝送システムが、(1)ミラーを含むビームスキャナであって、ビームスキャナが、(i)制御信号に応答して、ミラーを複数のミラー走査位置に走査し、(ii)複数の入射LADARパルスを複数のレンジポイントに向けてLADARパルスを伝送するための走査ミラーへ導くように構成される、ビームスキャナと、(2)制御信号が、レンジポイントに対して走査LADAR伝送システムのための動的走査パターンを定義するように、ビームスキャナのための制御信号を作成するように構成される、ビ

50

ームスキャナ制御装置と、(3)ビームスキャナ及びビームスキャナ制御装置と動作通信する閉ループフィードバック制御システムであって、閉ループフィードバック制御システムが、(i)ミラーのための複数の実ミラー走査位置を感知し、(ii)ミラーのための実ミラー走査位置を示すビームスキャナ制御装置にフィードバック信号を提供するように構成され、フィードバック信号が、伝送されたLADARパルスを送信ポイントに向けてターゲティングし続けるために、ビームスキャナ制御装置によって使用され、制御信号を調整する、閉ループフィードバック制御システムと、を備える装置が本明細書において開示される。

【0010】

さらに別の例示的な実施形態によれば、(1)第1の走査可能なミラー及び第2の走査可能なミラーを含むビームスキャナであって、ビームスキャナが、(i)第1の電圧波形に回答し、複数のミラー走査位置に対して第1の軸上の第1の走査可能なミラーを走査し、(ii)第2の電圧波形に回答し、複数のミラー走査位置に対して第2の軸上の第2の走査可能なミラーを走査し、(iii)レンジポイントの方に向けて、第1の走査可能なミラーから第2の走査可能なミラーへLADARパルスの反射によって、複数の入射LADARパルスを複数のレンジポイントに導くように構成される、ビームスキャナと、(2)(i)第1及び第2の電圧波形の組み合わせが、レンジポイントに対してビームスキャナのための動的走査パターンを定義するように、ビームスキャナのための第1及び第2の電圧波形を作成し、(ii)第1及び第2の走査可能なミラーのうちの少なくとも1つに対する閉ループフィードバック制御に基づいて、第1及び第2の波形のうちの少なくとも1つを調整するように構成される、ビームスキャナ制御装置と、を備える装置が本明細書において開示される。

【0011】

別の例示的な実施形態によれば、(1)走査LADAR伝送システムのための走査エリアとして機能する環境シーンを表すフレームデータを受信することであって、フレームデータが、走査エリアを定義する複数のポイントを含む、受信することと、(2)フレームデータにコーナー検出を実行して、環境シーン内のコーナーフィーチャを識別することと、(3)走査LADAR伝送システムによって伝送されるLADARパルスによるターゲティングのためのレンジポイントとして使用するためのポイントのサブセットを選択することであって、サブセットが、環境シーン内の識別されたコーナーフィーチャに対応する複数のポイントを含む、選択することと、を含み、方法のステップが、プロセッサによって実行される、方法が本明細書において記載される。

【0012】

また、例示的な実施形態として、(1)走査LADAR伝送システムのための走査エリアとして機能する環境シーンを表すフレームデータであって、走査エリアを定義する複数のポイントを含む、フレームデータを受信し、(2)フレームデータにコーナー検出を実行して、環境シーン内のコーナーフィーチャを識別し、(3)走査LADAR伝送システムによって伝送されるLADARパルスによるターゲティングのためのレンジポイントとして使用するためのポイントのサブセットであって、環境シーン内の識別されたコーナーフィーチャに対応する複数のポイントを含む、サブセットを選択するように構成されるプロセッサを備える、装置が本明細書において記載される。

【0013】

さらに別の例示的な実施形態として、(1)走査LADAR伝送システムのための走査エリアとして機能する環境シーンを表すフレームデータであって、走査エリアを定義する複数のポイントを含む、フレームデータを受信することと、(2)環境シーンの異なるセグメントに対応する複数のフレームデータセグメントを識別することと、(3)このようなフレームデータセグメント内のハイコントラストエリアを識別するために、複数の識別されたフレームデータセグメントを各々別個に分析することと、(4)走査LADAR伝送システムによって伝送されるLADARパルスによるターゲティングのためのレンジポイントとして使用するためにポイントのサブセットを選択することであって、サブセット

が、環境シーンの別のエリア内よりも、識別されたハイコントラストエリアに対応する環境シーンのエリア内の比較的より高密度のレンジポイントを含む、選択することと、を含み、方法のステップが、プロセッサによって実行される、方法が本明細書において開示される。

【0014】

さらにまた、別の例示的な実施形態として、(1) 走査 LADAR 伝送システムのための走査エリアとして機能する環境シーンを表すフレームデータであって、走査エリアを定義する複数のポイントを含む、フレームデータを受信し、(2) 環境シーンの異なるセグメントに対応する複数のフレームデータセグメントを識別し、(3) このようなフレームデータセグメント内のハイコントラストエリアを識別するために、複数の識別されたフレームデータセグメントを各々別個に分析し、(4) 走査 LADAR 伝送システムによって伝送される LADAR パルスによるターゲティングのためのレンジポイントとして使用するためにポイントのサブセットを選択するように構成されるプロセッサを備え、サブセットが、環境シーンの別のエリア内よりも、識別されたハイコントラストエリアに対応する環境シーンのエリア内の比較的より高密度のレンジポイントを含む、装置が本明細書において開示される。

10

【0015】

さらに別の例示的な実施形態によれば、(1) 環境シーンを表し、かつ複数のレンジポイントを含むポイントクラウドを、LADAR により作成することと、(2) (i) 環境シーンを表すデータを処理すること、及び (ii) 処理に基づいて、作成されたポイントクラウドよりも少ないレンジポイントを含む、圧縮されたポイントクラウド内に保存するためにポイントクラウド内の複数のレンジポイントを選択することによって、ポイントクラウドを圧縮することと、を含む方法が本明細書において記載される。例示的な実施形態において、ポイントクラウドは、走査 LADAR によって、またはフラッシュ LADAR によって作成することができる。

20

【0016】

また、例示的な実施形態として、(1) 環境シーンを表し、かつ複数のレンジポイントを含むポイントクラウドを LADAR によって作成するように構成される、LADAR システムと、(2) (i) 環境シーンを表すデータを処理すること、及び (ii) 処理に基づいて、作成されたポイントクラウドよりも少ないレンジポイントを含む、圧縮されたポイントクラウド内に保存するためにポイントクラウド内の複数のレンジポイントを選択することによってポイントクラウドを圧縮するように構成される、プロセッサと、を備える装置が開示される。

30

【0017】

別の例として、(1) 走査 LADAR 伝送システムによってターゲティングするための複数のレンジポイントを含むショットリストを処理することであって、走査 LADAR 伝送システムが、(i) 第1の軸に対して走査可能である第1のミラー、及び (ii) 第1の軸に垂直である第2の軸に対して走査可能である第2のミラーを備え、第2のミラーが、回転ポリゴンミラーを備える、処理することと、(2) 処理されたショットリストのレンジポイントをターゲティングするために、処理されたショットリストに基づいて複数のミラー走査位置に第1のミラー及び回転ポリゴンミラーを走査することによって、走査 LADAR 伝送システムのための動的走査パターンを制御することであって、第1のミラー及び回転ポリゴンミラーのためのミラー走査位置の組み合わせが、走査 LADAR 伝送システムがターゲティングされるレンジポイントを定義する、制御することと、(3) 制御された走査 LADAR 伝送システムによって、複数の LADAR パルスを動的走査パターンに従って処理されたショットリストのレンジポイントに向けて伝送することと、を含む方法が本明細書において開示される。

40

【0018】

別の例示的な実施形態によれば、複数の走査可能なミラーによって複数のレンジポイントに向けて複数の LADAR パルスを導くように構成される走査 LADAR 伝送システム

50

を備える装置であって、走査 L A D A R 伝送システムが、(1) 第 1 のミラー及び第 2 のミラーを含む、ビームスキャナであって、第 1 のミラーが、回転ポリゴンミラーを備え、ビームスキャナが、(i) 第 1 の軸に沿って走査 L A D A R 伝送システムをターゲットニングするために、第 1 の制御信号に応答して複数のミラー走査位置に第 1 のミラーを走査し、(i i) 第 2 の軸に沿って走査 L A D A R 伝送システムをターゲットニングするために、第 2 の制御信号に応答して複数のミラー走査位置に第 2 のミラーを走査するように構成され、第 1 及び第 2 のミラーのためのミラー走査位置の組み合わせが、走査 L A D A R 伝送システムがターゲットニングされるレンジポイントを定義する、ビームスキャナと、(2) 第 1 及び第 2 の制御信号が、レンジポイントに対して走査 L A D A R 伝送システムのための動的走査パターンを定義するように、ビームスキャナによって使用するための第 1 及び第 2 の制御信号を作成するように構成される、ビームスキャナ制御装置と、を備える装置が本明細書において開示される。

10

【 0 0 1 9 】

別の例として、(1) 走査 L A D A R 伝送システムによってターゲットニングするための複数のレンジポイントを含むショットリストを処理することと、(2) 処理されたショットリストのレンジポイントをターゲットニングするために、処理されたショットリストに基づいて複数のミラー走査位置にミラーを走査することによって、走査 L A D A R 伝送システムのための動的走査パターンを制御することであって、ミラー走査位置が、走査 L A D A R 伝送システムがターゲットニングされる場所を定義し、動的走査パターンが、インターラインスキップ及びインターラインの迂回からなる群の少なくとも 1 つの一員を含む、制御することと、(3) 制御された走査 L A D A R 伝送システムによって、複数の L A D A R パルスを動的走査パターンに従って処理されたショットリストのレンジポイントに向けて伝送することと、を含む方法が本明細書において開示される。

20

【 0 0 2 0 】

また、例示的な実施形態として、ショットリストが、インターラインスキップ及びインターラインの迂回からなる群の少なくとも 1 つの一員を含む動的走査パターンをサポートするように、L A D A R スキャナターゲットニングのためのレンジポイントリストを L A D A R スキャナターゲットニングのためのショットリストへ、プロセッサによって翻訳することを含み、レンジポイントリストが、複数のレンジポイントを含み、ショットリストが、レンジポイントリストからの複数の順序レンジポイントを含む方法が開示される。

30

【 0 0 2 1 】

さらになお、別の例示的な実施形態として、インターラインスキップ及びインターラインの迂回からなる群のうちの少なくとも 1 つの一員を含む動的走査パターンに従って、複数のレンジポイントに向けて複数の L A D A R パルスを伝送するように構成される走査 L A D A R 伝送システムを備える装置が本明細書において開示される。

【 0 0 2 2 】

例示的な実施形態において、このような装置は、(1) レンジポイントの順序集合を生成するために、複数のレンジポイントを処理するように構成されるプロセッサであって、各レンジポイントが、ミラー走査位置を共に定義する、関連する行識別子及び関連する列識別子を有し、順序集合が、走査 L A D A R 伝送システムのためのショットリストとして機能し、処理動作の一部として、プロセッサが、(i) 走査 L A D A R 伝送システムによって、現在の行から別の行へ走査するのに必要な時間量を示すパラメータに基づいて、レンジポイントをターゲットニングするために走査 L A D A R 伝送システムによって、任意のインターラインスキップが使用されるべきかどうかを決定し、(i i) インターラインスキップの決定に基づいてレンジポイントを順序集合にソートし、インターラインスキップが使用されるべきという決定に応答して、インターラインスキップが実行される場所で順序集合内のインターラインスキップ識別子によって、ショットリストをタグ付けするようにさらに構成される、プロセッサと、(2) 走査 L A D A R 伝送システムのビームスキャナであって、ビームスキャナが、ミラーを備え、ビームスキャナが、動的走査パターンによってレンジポイントをターゲットニングするために、その中に存在する任意のインターラ

40

50

インスキップ識別子を含むショットリストに従って、ミラーを複数のミラー走査位置に走査するように構成され、ミラー走査位置が、走査 L A D A R 伝送システムがターゲティングされる場所を定義し、走査 L A D A R 伝送システムが、走査ミラーによって、動的走査パターンに従ってショットリストのレンジポイントに向けて複数の L A D A R パルスを送送するようにさらに構成される、ビームスキャナと、をさらに備えてもよい。

【 0 0 2 3 】

別の例示的な実施形態において、このような装置は、(1) レンジポイントの順序集合を生成するために、複数のレンジポイントを処理するように構成されるプロセッサであって、各レンジポイントが、ミラー走査位置を共に定義する、関連する行識別子及び関連する列識別子を有し、順序集合が、走査 L A D A R 伝送システムのためのショットリストとして機能し、処理動作の一部として、プロセッサが、(i) 走査 L A D A R 伝送システムによって、(a) 現在の行から別の行へ走査し、(b) 別の行内のレンジポイントに対して走査し、(c) 任意のインターラインの迂回が、走査 L A D A R 伝送システムがレンジポイントをターゲティングするために使用されるべきかどうかに関わらず、現在の行に戻るのに必要な時間量を示すパラメータに基づいて決定し、(i i) インターラインの迂回の決定に基づいてレンジポイントを順序集合にソートし、(i i i) インターラインの迂回が使用されるべきという決定に応答して、インターラインの迂回が実行されるべき場所で順序集合内のインターラインの迂回識別子によって、ショットリストをタグ付けするようにさらに構成される、プロセッサと、(2) 走査 L A D A R 伝送システムのビームスキャナであって、ビームスキャナが、ミラーを備え、ビームスキャナが、動的走査パターンによってレンジポイントをターゲティングするために、その中に存在する任意のインターラインの迂回識別子を含むショットリストに従って、ミラーを複数のミラー走査位置に走査するように構成され、ミラー走査位置が、走査 L A D A R 伝送システムがターゲティングされる場所を定義し、走査 L A D A R 伝送システムが、走査ミラーによって、動的走査パターンに従ってショットリストのレンジポイントに向けて複数の L A D A R パルスを送送するようにさらに構成される、ビームスキャナと、をさらに備えてもよい。

【 0 0 2 4 】

さらに別の例として、(1) 走査 L A D A R 伝送システムによってターゲティングするための複数のレンジポイントを含むショットリストを処理することと、(2) 螺旋動的走査パターンに従って、処理されたショットリストのレンジポイントをターゲティングするために、処理されたショットリストに基づいて複数のミラー走査位置にミラーを走査することによって、走査 L A D A R 伝送システムのための螺旋動的走査パターンを制御することであって、ミラー走査位置が、走査 L A D A R 伝送システムがターゲティングされる場所を定義する、制御することと、(3) 制御された走査 L A D A R 伝送システムによって、複数の L A D A R パルスを螺旋動的走査パターンに従って処理されたショットリストのレンジポイントに向けて伝送することと、を含む方法が本明細書において開示される。

【 0 0 2 5 】

例示的な実施形態において、走査位置は、可動ミラーのための走査角度であり、これによって、可動ミラーは、軸周りを回転し、その走査角度を変化させる。しかしながら、走査位置は、走査角度に限定される必要はなく、他の実施形態は、システムがターゲティングされる場所を定義するために、横方向及び/または仰角方向において可動ミラーを走査し得ることを理解すべきである。

【 0 0 2 6 】

また、例示的な実施形態として、ショットリストが螺旋動的走査パターンをサポートするように、L A D A R スキャナターゲティングのためのレンジポイントリストを L A D A R スキャナターゲティングのためのショットリストへ、プロセッサによって翻訳することを含み、レンジポイントリストが、複数のレンジポイントを含み、ショットリストが、レンジポイントリストからの複数の順序レンジポイントを含む、方法が開示される。

【 0 0 2 7 】

さらに別の例示的な実施形態によれば、複数の走査可能なミラーによって複数のレンジ

10

20

30

40

50

ポイントに向けて複数の L A D A R パルスを導くように構成される走査 L A D A R 伝送システムを備える装置であって、走査 L A D A R 伝送システムが、(1) 第 1 のミラー及び第 2 のミラーを含むビームスキャナであって、ビームスキャナが、(i) 第 1 の軸に沿って走査 L A D A R 伝送システムをターゲットングするために、第 1 の駆動電圧に応答して複数のミラー走査位置に第 1 のミラーを走査し、(i i) 第 2 の軸に沿って走査 L A D A R 伝送システムをターゲットングするために、第 2 の駆動電圧に応答して複数のミラー走査位置に第 2 のミラーを走査するように構成され、第 1 及び第 2 のミラーのためのミラー走査位置の組み合わせが、走査 L A D A R 伝送システムがターゲットングされるレンジポイントを定義する、ビームスキャナと、(2) 第 1 及び第 2 の駆動電圧が、レンジポイントに対して走査 L A D A R 伝送システムのための螺旋動的走査パターンを定義するように、ビームスキャナによって使用するための第 1 及び第 2 の駆動電圧を作成するように構成される、ビームスキャナ制御装置と、を備える装置が本明細書において開示される。

10

【 0 0 2 8 】

別の例として、(1) 走査 L A D A R 伝送システムによってターゲットングするための複数のレンジポイントを含むショットリストを処理することと、(2) 処理されたショットリストのレンジポイントをターゲットングするために、処理されたショットリストに基づいて複数のミラー走査位置にミラーを走査することによって、走査 L A D A R 伝送システムのための動的走査パターンを制御することであって、ミラー走査位置が、走査 L A D A R 伝送システムがターゲットングされる場所を定義し、動的走査パターンが、マクロ走査パターン及びマクロ走査パターン内に埋め込まれたベース動的走査パターンを含む、制御することと、(3) 制御された走査 L A D A R 伝送システムによって、複数の L A D A R パルスを動的走査パターンに従って処理されたショットリストのレンジポイントに向けて伝送することと、を含む方法が本明細書において開示される。

20

【 0 0 2 9 】

別の例示的な実施形態によれば、複数の走査可能なミラーによって複数のレンジポイントに向けて複数の L A D A R パルスを導くように構成される走査 L A D A R 伝送システムを備える装置であって、走査 L A D A R 伝送システムが、(1) 第 1 のミラー及び第 2 のミラーを含むビームスキャナであって、ビームスキャナが、(i) 第 1 の軸に沿って走査 L A D A R 伝送システムをターゲットングするために、第 1 の制御信号に応答して複数のミラー走査位置に第 1 のミラーを走査し、(i i) 第 2 の軸に沿って走査 L A D A R 伝送システムをターゲットングするために、第 2 の制御信号に応答して複数のミラー走査位置に第 2 のミラーを走査するように構成され、第 1 及び第 2 のミラーのためのミラー走査位置の組み合わせが、走査 L A D A R 伝送システムがターゲットングされるレンジポイントを定義する、ビームスキャナと、(2) 第 1 及び第 2 の制御信号が、レンジポイントに対して走査 L A D A R 伝送システムのための動的走査パターンを定義するように、ビームスキャナによって使用するための第 1 及び第 2 の制御信号を作成するように構成される、ビームスキャナ制御装置であって、動的走査パターンが、マクロ動的走査パターン及びマクロ動的走査パターン内に埋め込まれたベース動的走査パターンを含む、ビームスキャナ制御装置と、を備える装置が本明細書において開示される。

30

【 0 0 3 0 】

さらに別の例として、(1) 走査パターンに従って複数のレンジポイントをターゲットングするために、複数のミラー走査位置にミラーを走査することによって走査 L A D A R 伝送システムのための走査パターンを制御することであって、ミラー走査位置が、走査 L A D A R 伝送システムがターゲットングされる場所を定義する、制御することと、(2) 制御された走査 L A D A R 伝送システムによって、複数の変調 L A D A R パルスを走査パターンに従ってレンジポイントに向けて伝送することと、を含む方法が本明細書において開示される。

40

【 0 0 3 1 】

また、例示的な実施形態として、ミラーを備える走査 L A D A R 伝送システムであって、(1) 走査 L A D A R 伝送システムのための走査パターンを制御して、走査パターンに

50

従って複数のレンジポイントをターゲティングするために、ミラーを複数のミラー走査位置に走査し、ミラー走査位置が、走査 L A D A R 伝送システムがターゲティングされる場所を定義し、(2) 走査されたミラーによって、走査パターンに従ってレンジポイントに向けて複数の変調 L A D A R パルスを送送するように構成される、走査 L A D A R 伝送システムを備える装置が開示される。

【0032】

本発明のこれらの特徴及び他の特徴ならびに利点を当業者に後述する。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】例示的なシステムの実施形態を示す図である。

10

【図2A】図1のシステム制御装置によって実装される例示的なプロセスフローを示す図である。

【図2B】L A D A R ターゲティングのための選択されたレンジポイントを含む例示的な環境シーン画像を示す図である。

【図2C】動的レンジポイント選択アルゴリズムのための例示的な実施形態を示す図である。

【図2D】例示的な動的レンジポイント選択アルゴリズムのフィルポイント選択アルゴリズムのための例示的な実施形態を示す図である。

【図3】走査 L A D A R 伝送システムのための例示的な実施形態を示す図である。

【図4】ビームスキャナの走査ミラーに対する位置付け誤差が L A D A R ターゲティングのための使用可能な走査エリアにどのように影響を及ぼし得るかを示す図である。

20

【図5】ミラー走査位置の閉フィードバック制御と組み合わせられるビームスキャナの例示的な実施形態を示す図である。

【図6A】ミラー走査位置を精密に制御するために使用される閉ループ光学フィードバックシステムのための例示的な実施形態を示す図である。

【図6B】ミラー走査位置を精密に制御するために使用される閉ループ光学フィードバックシステムのための例示的な実施形態を示す図である。

【図6C】ミラー走査位置を精密に制御するために使用される閉ループ光学フィードバックシステムのための例示的な実施形態を示す図である。

【図7A】閉ループフィードバックシステムにおける誤差補正のための例示的な実施形態を示す図である。

30

【図7B】ミラースキャン位置を制御することに関連する例示的な電圧波形を示す図である。

【図7C】ミラースキャン位置を制御することに関連する例示的な電圧波形を示す図である。

【図8A】走査 L A D A R 伝送システムによって使用することができる動的走査パターンの例を示す図である。

【図8B】走査 L A D A R 伝送システムによって使用することができる動的走査パターンの例を示す図である。

【図8C】走査 L A D A R 伝送システムによって使用することができる動的走査パターンの例を示す図である。

40

【図8D】走査 L A D A R 伝送システムによって使用することができる動的走査パターンの例を示す図である。

【図8E】走査 L A D A R 伝送システムによって使用することができる動的走査パターンの例を示す図である。

【図8F】走査 L A D A R 伝送システムによって使用することができる動的走査パターンの例を示す図である。

【図9A】レンジポイントのリストを L A D A R ターゲティングのためのショットリストに変換するための例示的な実施形態を示す図である。

【図9B】レンジポイントのリストを L A D A R ターゲティングのためのショットリスト

50

に変換するための別の例示的な実施形態を示す図である。

【図 9 C】レンジポイントリスト - ショットリスト間変換の例を示す図である。

【図 9 D】レンジポイントリスト - ショットリスト間変換の例を示す図である。

【図 9 E】レンジポイントリスト - ショットリスト間変換の例を示す図である。

【図 9 F】レンジポイントリスト - ショットリスト間変換の例を示す図である。

【図 10】ビームスキャナ制御装置のための例示的な実施形態を示す図である。

【図 11 A】回転ポリゴンミラーと組み合わせられる少なくとも 1 つの走査ミラーを用いるビームスキャナのための例示的な実施形態を示す図である。

【図 11 B】回転ポリゴンミラーと組み合わせられる少なくとも 1 つの走査ミラーを用いるビームスキャナのための例示的な実施形態を示す図である。

【図 11 C】回転ポリゴンミラーと組み合わせられる少なくとも 1 つの走査ミラーを用いるビームスキャナのための例示的な実施形態を示す図である。

【図 11 D】回転ポリゴンミラーと組み合わせられる少なくとも 1 つの走査ミラーを用いるビームスキャナのための例示的な実施形態を示す図である。

【図 11 E】回転ポリゴンミラーと組み合わせられる少なくとも 1 つの走査ミラーを用いるビームスキャナのための例示的な実施形態を示す図である。

【図 11 F】回転ポリゴンミラーと組み合わせられる少なくとも 1 つの走査ミラーを用いるビームスキャナのための例示的な実施形態を示す図である。

【図 11 G】回転ポリゴンミラーと組み合わせられる少なくとも 1 つの走査ミラーを用いるビームスキャナのための例示的な実施形態を示す図である。

【図 12 A】LADAR 送信装置によって使用することができるレーザパルス符号化パターンの例を示す図である。

【図 12 B】LADAR 送信装置によって使用することができるレーザパルス符号化パターンの例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0034】

図 1 は、例示的な実施形態に従う動的走査 LADAR 伝送のためのシステム 100 を例証する。システム 100 は、走査 LADAR 伝送システム 104 及び環境センシングシステム 106 と通信するシステム制御装置 102 を含む。環境センシングシステム 106 は、環境シーン 108 を感知して、環境シーンデータ 110 をシステム制御装置 102 に提供するように構成することができる。環境シーンデータ 110 の分析に基づいて、システム制御装置 102 は、走査 LADAR 伝送システム 104 に送出するための制御情報 112 を作成することができる。次に、走査 LADAR 伝送システムは、システム制御装置 102 から受信される制御情報 112 に従って、LADAR パルス 114 を伝送することができる。さらに詳細に後述するように、走査 LADAR 伝送システム 104 は、走査 LADAR 伝送システム 104 のための走査位置の閉ループフィードバック制御を用いることができる。

【0035】

図示していないが、LADAR 受信装置が LADAR パルスの反射光を受信して、伝送された LADAR パルスに基づいてレンジ情報の決定をサポートする、LADAR 伝送システムと組み合わせられて、LADAR 受信装置を使用することができることを理解すべきである。

【0036】

環境センシングシステム 106 は、近隣の環境シーン 108 についてのデータを感知してシステム制御装置 102 に送出するための環境シーンデータ 110 を作成するセンサを含むことができる。好適なセンサの例は、カメラ、例えば CCD カメラ、サーマルカメラなどを含む。好適なセンサの別の例は、別の LADAR システムを含むことができる。環境シーンデータ 110 は、カメラによって作成される環境シーンについてイメージデータのフレームを含むことができ、環境センシングシステム 106 は、システム制御装置 102 に送出するためのロールベースに環境シーンのフレームを作成するように構成すること

10

20

30

40

50

ができる。別の例として、センサは、環境センシングシステム 106 の地理的位置及び方向を決定することができる全地球測位システム (GPS) 受信装置及び/または慣性計測装置 (IMU) などであることができる。決定された地理的ロケーションに基づいて、マップ情報、例えばストリートマップ及び/または地形図を含むデータベースにアクセスし、環境シーンデータ 110 を得ることができる。したがって、環境シーンデータ 110 は、静止画像、ビデオ画像、地図、LADAR データなど、例えば、照会される環境シーンデータ内の高価値ロケーションに対応する「高価値ターゲットデータ」を伴う任意のものを含む多数の形態のいずれかを取得することができることを理解すべきである。

【0037】

例示的な実施形態において、初期走査について、環境センシングシステムは、カメラなどのセンサを使用して、環境シーンデータを作成することができるが、追加走査は、環境シーンデータ 110 として、走査 LADAR 伝送システムによって送られる LADAR パルスに応答して、レーザレンジ受信装置によって受信されたデータから作成される 3D 画像データを用いることができる。

【0038】

システム制御装置 102 は、プロセッサ 120 及びメモリ 122 を含むことができる。プロセッサ 120 及びメモリ 122 は、プロセッサ 120 がメモリ 122 に記憶される命令を実施するように、互いに対話するように構成することができる。プロセッサ 120 は、本明細書において記載される処理動作を実装するのに十分なコンピュータ能力を有する任意のタイプのプロセッサであってもよい。プロセッサ 120 が、ネットワークを介して任意選択で分散される、複数のプロセッサを備えることができることを理解すべきである。プロセッサ 120 によって実施される処理ロジックを実装するためのプログラミング命令は、プロセッサ 120 によってアクセス及び実施するための非一時的コンピュータ可読記憶媒体 (例えば、メモリ 122) に常駐してもよい。メモリ 122 は、複数のメモリデバイスを備えてもよく、これらは、限定されないが、1つ以上のハードドライブ、ランダムアクセスメモリ (RAM)、取り外し可能な記憶媒体、例えばフラッシュドライブ、光媒体などを含む、複数の分散されたメモリデバイス及び/または異なるタイプのメモリデバイスであってもよいことも理解すべきである。メモリ 122 はまた、後述するように、プロセッサ、例えば選択されたレンジポイントのリスト、ショットリスト等によって計算された任意の情報を反映する複数のデータ構造を記憶することができる。データ構造は、コンピュータシステム内で組織化された情報の物理的現れであってもよい。データ構造の例は、データオブジェクト、ファイル、レコード、表、配列、ツリーなどを含んでもよい。

【0039】

動作中、プロセッサ 120 は、環境センシングシステム 106 から受信した環境シーンデータ 110 を処理し、走査 LADAR 伝送システム 104 の動作を統治する制御情報 112 を作成することができる。この制御情報 112 は、走査 LADAR 伝送システム 104 がその LADAR パルス 114 をどこに送るかを定義するターゲットング情報を含んでもよく、この例は以下の記載において提供する。

【0040】

走査 LADAR 伝送システム 104 は、システム制御装置 102 から受信された制御情報 112 に基づいて、LADAR パルス 114 を所望のターゲットに制御可能に伝送するように構成される。走査 LADAR 伝送システム 104 は、所望のターゲットに LADAR パルスを導くことができる 1つ以上の可動ミラーによって所望のターゲットに走査するように構成することができる。走査 LADAR 伝送システム 104 の例は、以下の記載に含まれる。

【0041】

システム制御装置 102 - 構成及び動作

図 2A は、入力された環境シーンデータ 110 から、制御命令 112 (この例ではショットリスト) を作成するために、プロセッサ 120 によって実施するための一般的なプロ

10

20

30

40

50

セスフローを示す。データ 110 は、ステップ 200 においてプロセッサ 120 によって処理される環境シーン 108 についてのアプリオリデータとして機能する。この処理に基づいて、プロセッサは、走査 LADAR 伝送システム 104 を用いてターゲティングするためのレンジポイントのリストを作成する（ステップ 202）。このリストは、可能性のあるレンジポイントのサブセットを選択することによって作成することができ、その後、選択されたレンジポイントは、走査 LADAR 伝送システム 104 によってターゲティングされる環境シーンの際立ったフィーチャを表す、疎な配列またはポイントクラウドとして機能する。アプリオリデータ 110 が画像である例において、選択されたレンジポイントのリストとして機能する疎な配列は、アプリオリ画像データ 110 内の画素のサブセットであり得る。

10

【0042】

次に、ステップ 204 では、プロセッサ 120 は、ステップ 202 によって作成されたレンジポイントのリストを走査 LADAR 伝送システム 104 のためのショットリストに翻訳する。このショットリストは、走査 LADAR 伝送システム 104 のための制御情報 112 として機能することができる。ステップ 202 で作成されるレンジポイントのリストは、単なるターゲティングのための選択されたレンジポイントのリストであり得るが、ショットリストは、走査 LADAR 伝送システムによってターゲティングするための選択されたレンジポイントの順序リストとして機能し、順序付けは、走査 LADAR 伝送システム 104 の能力及び制約、ならびにシステム動作のための所望の走査パターンを考慮に入れる。図 2A の例は、プロセッサ 120 によって実行されているステップ 204 を示すが、ステップ 204 がシステム内の他の構成要素によって実行することができることを理解すべきである。例えば、ステップ 204 は、走査 LADAR 伝送システム 104 内のビームスキャナ制御装置 308 によって実行され得る。別の例として、プロセッサ 120 は、ステップ 204 の一部を実行するように構成することができ、一方、ビームスキャナ制御装置 308 は、ステップ 204 の残りの部分を実行するように構成することができる。ステップ 204 がプロセッサ 120 によって実行される例示的な実施形態については、その後、制御情報 112 は、ショットリストを含むことができる。しかしながら、ステップ 204 が、走査 LADAR 伝送システム 104 内のビームスキャナ制御装置 308 によって実行される例示的な実施形態については、その後、制御情報 112 は、ステップ 202 からのレンジポイントリストを含むことができる。

20

30

【0043】

図 2B は、環境シーンのサンプル画像についてステップ 202 の結果を示す例を描写する。この例では、環境シーンデータ 110 は、道及び近隣の地形の風景を示す。ステップ 202 におけるプロセッサは、レンジポイントリストに含まれることになる、複数のインテリジェントレンジポイント 210 及び複数のフィルレンジポイント 212 を選択することができる。後述するように、インテリジェントレンジポイントは、システムによって、シーンを注意深くサンプリングする目的に対して高い有用性を呈することが見出されたレンジポイントであり、一方、フィルレンジポイントは、インテリジェントレンジポイントの細部にスキャフォールディングを提供する。これらのポイント 210 及び 212 は、共にレンジポイントの疎な配列を定義することができる。環境シーンを表すために使用されるポイント配列のサイズを縮小することによって、走査 LADAR 伝送システムは、より高いフレームレートをサポートすることができ、これは、走査 LADAR 伝送システムに関するポイント負荷を低減することにより、環境シーンをより速く走査することができるためであると考えられる。疎な配列は、本来、レーザはより低い繰り返し速度によって動作することができるので、LADAR システムのための改善されたレンジをサポートすることもできるとさらに考えられ、この場合、レーザは、より高いパルス当たりのエネルギーを呈することができる（次に、システムによってサポートされるより長いレンジに翻訳する）。例示的な実施形態は、最大約 2 km 超（例えば、約 10 km）の距離まで測距することができると思われ。

40

【0044】

50

インテリジェントレンジポイント 210 は、多数の判定基準のいずれかに基づいて選択することができる。例えば、ハイコントラストのエリアは、比較的高密度のレンジポイントを含むべきであるシステムにとって関心の高いエリアであると見なすことができる。このため、ステップ 202 は、画像データ 110 の分析に基づいて、ハイコントラストのエリア内の高密度のレンジポイントをインテリジェントに選択するように動作することができる。これは、図 2B の例によって示され、インテリジェントレンジポイント 210 は、画像、例えば道路に対する路肩境界線、道路地形と非道路地形との間の変わり目、及び遠くの山と空との間の水平境界線の比較的高コントラストなエリア内に集中する。際立ったレンジポイントを識別するために使用することができる追加判定基準は、ラインまたはコーナーを呈する画像エリアである。画像 110 の他の部分を具体化するために、プロセッサ 202 は、フィルパターンを定義し、定義されたフィルパターンに基づいてフィルレンジポイント 212 を選択することができる。さらに、施術者は、追加レンジポイントによって疎な配列を補足するために、動作アルゴリズムから追加の立体的な 3D 情報または構造を用いるように選んでもよい。

【0045】

インテリジェントレンジポイント及びフィルレンジポイントの動的選択のための例示的なプロセスフローは、図 2C 及び 2D において見るることができる。図 2C 及び 2D が、概して図 2A からのステップ 200 及び 202 に対応することを理解すべきである。図 2C を参照すると、ステップ 220 では、プロセッサは、プレフィルタリングプロセスを環境シーンデータ 110 に適用する。この例の場合、環境シーンデータは、画像であり得る。プレフィルタリングプロセスは、画像内の高周波雑音または他の不必要なアーチファクトを抑制するように設計することができる。プレフィルタリングプロセスはまた、画像 110 内のハイコントラストのエリアを識別するためにエッジ検出動作を含んでもよい。プロセッサは、ステップ 220 を実行するために、複数の選択可能なフィルタ動作のいずれかを適用することができる。適切なフィルタの選択は、フィルタ選択パラメータによって制御することができ、フィルタ選択パラメータは、レンジポイント選択を制御するために使用される一連のパラメータ 250 として含まれ得る。パラメータ 250 は、ユーザ入力または環境センシングシステム、他のセンサ (GPS、IMU など)、及び/もしくはユーザによって設定されるマクロ動作モードからのデータに基づいてパラメータを最適化するフィードバックアルゴリズムに基づいて、定義することができる。

【0046】

ステップ 222 では、プロセッサは、画像 110 についてスーパー画素を識別することができる。そうすることによって、プロセッサは、画像 110 を実物またはより小さいセグメントに分けることができる。ステップ 222 でスーパー画素の識別を制御するために使用することができるパラメータ 250 は、サイズパラメータ及び閾値パラメータを含むことができる。限定されないが、単純ライン反復クラスタリング (SLIC) セグメンテーション、QuickShift セグメンテーション、TurboPixels セグメンテーション、正規化カットセグメンテーション、及び/またはグラフベースセグメンテーションを含む、多数の画像セグメンテーションアルゴリズムのいずれかをステップ 222 のパフォーマンスにおいて使用することができる。サイズ及び閾値パラメータ 250 を使用して、ステップ 222 でセグメンテーションの性質を制御することができる。スーパー画素セグメンテーション技術を使用して、画像 110 を実物またはより小さいセグメントに分けることによって、その後、インテリジェントレンジポイントは、各々実物/より小さいセグメントを処理した結果として、識別することができ、レンジポイント選択を強化かつ改善して、最終的に 3D シーンの解釈及び再構築を強化かつ改善すると予想される。

【0047】

次に、ステップ 224 では、プロセッサは、レンジポイントのリスト内に含まれることになるインテリジェントレンジポイントのための候補を選択する。このため、ステップ 226 の出力は、LADAR 走査のために選択されたインテリジェントレンジポイントのリストを表す。ステップ 222 の結果として見出されたスーパー画素セグメントに対して、

10

20

30

40

50

セグメントごとに基づいて、ステップ224を実行することができる。ステップ224のパフォーマンスにおいて、多数の技術のいずれかを使用することができる。例えば、画像内のエッジ及びコーナーに対応するポイントを識別するのに効果的である技術を用いることができる。これに関して用いることができるオープンソース方法の例は、OpenCVライブラリ内に含まれるHarris Corner Detectorオープンソースアルゴリズムの使用である。しかしながら、Shi Tomasiアルゴリズム、Features from Accelerated Segment Test (FAST)アルゴリズム、Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus (SUSAN)アルゴリズム、及び他のコーナー検出アルゴリズムなどの他の技術及びツールが実装ステップ224にとって利用可能であることを理解すべきである。インテリジェントレンジポイントの初期選択を制御するために、ステップ224で使用するパラメータ250は、距離パラメータ、角度パラメータ、及び密度パラメータを含むことができる。距離パラメータは、コーナーポイントなどのポイントのタイプ間の異なる間隔パラメータを定義する。距離パラメータは、画素の単位で表現することができる。距離パラメータについて間隔はまた、レンジの関数であってもよく、その場合、距離パラメータは、以前の画像フレーム及び以前のレンジ情報の関数として変化してもよい。間隔を方位角及び/または仰角の関数にするために角度パラメータが使用される。例えば、より大きな角度では、ポイント間の間隔を減らすことがより良好になり得る。密度パラメータは、主にいくつかの距離値に対する上限または下限として、使用することができる他のタイプの間隔パラメータである。

10

20

【0048】

ステップ226では、プロセッサは、ステップ224から選択されたインテリジェントレンジポイントのリストをリファインして、インテリジェントレンジポイントの最終選択をする。この動作の一部として、ステップ226は、レンジポイントのリストのためのポイントバジェットを定義するパラメータ250を利用することができる。このポイントバジェットは、レンジポイントのリストについて最大数のレンジポイントを識別することができる。ポイントバジェットパラメータについての値は、施術者の要求に応じて、多数の値のいずれかであり得る。例として、ポイントバジェットは、画像データ110内の画素数の約0.3%~約3.0%であり得る。しかしながら、ポイントバジェットを表現するために他の値または測定基準を使用することができることを理解すべきである。

30

【0049】

単純な例示的な実施形態において、ステップ226は、ポイントバジェットパラメータ250を考慮し、(1)インテリジェントレンジポイント候補の数が、ポイントバジェットまたは定義されたその部分未満である場合(その場合、ポイントバジェットまたはポイントバジェット部分に対する残りがフィルレンジポイントに割り当てられる)、最終レンジポイントリスト内に含むための全てのインテリジェントレンジポイント候補を選択し、(2)ポイントバジェットまたは定義されたその部分に適合するようにステップ224で選択されるインテリジェントレンジポイントの数を減少させるために動作するように構成することができる。

【0050】

40

別の例示的な実施形態において、ステップ226は、リスト内に含むためのインテリジェントレンジポイントを選択するとき、インテリジェントレンジポイント候補を調整及び/または増補することができる。例えば、いくつかのインテリジェントレンジポイント候補は、リファインメントの間に用いられ得る予測アルゴリズムに応じて、上、下、左、または右に、ある程度の距離だけシフトされる場合がある。別の例として、エッジポイントの場合、エッジをより良く定義するために、1つ以上の追加インテリジェントレンジポイントがエッジに対応するインテリジェントレンジポイント候補の両側に加えられる場合がある。コーナーポイントの場合、1つ以上の追加ポイントが、コーナーポイントを囲んでもよい。また、さらに別の例示的な追加レンジポイントは、移動オブジェクト、例えば車両アプリケーションの場合における歩行者に対応するポイントを囲んでもよい。

50

【 0 0 5 1 】

またさらに、ステップ 2 2 6 は、走査 L A D A R 伝送システム 1 0 4 の構成をその動的走査パターンに対して考慮するように構成することもできる。後述するように、走査 L A D A R 伝送システム 1 0 4 は、多数の動的走査パターンのいずれかを使用して、レンジポイントの走査を実行するように構成することができ、各動的走査パターンは、インテリジェントレンジポイントの選択を変更することによって、パフォーマンスを改善することができる異なる特性を呈し得る。例えば、所与のタイプのスキャナの場合、次の行へインテリジェントレンジポイントをステップダウンすることがラインスキップを回避し、インテリジェントレンジポイントのステップダウンが、その選択に影響を与えることなく、ポイントを離れたどれくらいの画素がシフトすることができるかという上限を制御する密度パラメータの 1 つに準拠する場合、そうすることがより良好であり得る（すなわち、初期に選択された画素候補をわずかに下回る画素が、ちょうど同様に実行する場合、その後、調整は、走査パフォーマンスを向上させることができる）。

10

【 0 0 5 2 】

ステップ 2 2 8 では、プロセッサは、L A D A R 走査のためのレンジポイントのリストをフィルアウトする一連のフィルレンジポイントを作成する。図 2 D は、ステップ 2 2 8 を実行するための例示的なプロセスフローを例証する。図 2 C に示すように、ポイントバジェットパラメータは、ステップ 2 2 8 の動作を統治するのを助ける。

【 0 0 5 3 】

ステップ 2 3 0 では、プロセッサは、ステップ 2 2 6 からのインテリジェントレンジポイントのリストとステップ 2 2 8 からのグリッドレンジポイントのリストとを合わせて、L A D A R 走査のために使用されるレンジポイント 2 4 0 のリストを生成する。このリスト 2 4 0 は、概して、図 2 A からのステップ 2 0 2 の出力に対応する。リスト 2 4 0 に関する各レンジポイントは、場所情報、例えば画像 1 1 0 内のそのポイントの場所についての行及び列番号によって表現することができる。

20

【 0 0 5 4 】

図 2 D は、ステップ 2 2 8 の動作をより詳細に記載する。ステップ 2 6 0 では、プロセッサは、フィルレンジポイント間の所望の間隔を決定する。この決定は、定義されたポイントバジェットの影響を受ける。例えば、ポイントバジェットが X であり、ステップ 2 2 6 の動作が Y インテリジェントレンジポイント（ここで $Y < X$ ）の選択をもたらす場合、図 2 D のプロセスフローは、 $X - Y$ のバジェットを有し、フィルレンジポイントを選択する際に作動する。それにより、 $X - Y$ の値は、ステップ 2 6 0 においてフィルポイントレンジポイント間の決定された間隔を左右する。ステップ 2 6 0 の動作に影響を及ぼし得る追加要素は、走査パターンダイナミックス（例えば継続的なショット間に許容される最小間隔）を含む。

30

【 0 0 5 5 】

ステップ 2 6 2 では、プロセッサは、フィルレンジポイントのためのフィルパターンを選ぶ。ステップ 2 6 2 で選ぶことができるフィルパターンの例は、正方グリッドパターン、ダイヤモンドグリッドパターン、及び千鳥グリッドパターンを含む（その場合、複数の正方グリッドが存在するが、各連続するグリッド行は、どれが速軸に対応するかに応じて、以前のグリッド列または行からのオフセットを有する）。フィルパターン選択は、ステップ 2 6 0 で決定されたポイント間隔のための最適なフィルパターンを選ぶことができる。フィルパターン選択はまた、画像 1 1 0 から決定される環境要素を考慮に入れてもよい。例えば、画像が地面の俯瞰図である場合、この事実は、特定のフィルパターンの選択を左右する場合があります。一方、画像が地面及び空の両方を含む水平線図である場合、この事実は、異なるフィルパターンの選択を左右する場合があります。また、 N 個のフレーム後、可能なフィルポイントのスペース内の全てのアドレス指定可能な画素が選ばれるように、フィルパターンは、フレームからフレームへ水平に及び/または垂直に、翻訳されラップされてもよい（効果的に 2 D における 3 D 回転）。フィルパターンが選択されると、ステップ 2 6 2 は、選択されたフィルパターン及び決定されたポイント間隔に基づいて、候補フ

40

50

フィルポイントのリストを作成することが可能である。

【 0 0 5 6 】

また、画像 1 1 0 の異なるセグメントに対して異なるフィルパターンを選択することができることを理解すべきである。前述のように、ステップ 2 2 2 では、プロセッサは、画像 1 1 0 を分けることができる異なる画像セグメントを識別する。このため、ステップ 2 6 2 では、異なるフィルパターンを画像 1 1 0 の異なるセグメントに適用することができる。例えば、水平線より上の画像セグメントのためのフィルパターンは、水平線より下の画像セグメントよりも低いフィル密度を有してもよい。

【 0 0 5 7 】

ステップ 2 6 4 では、プロセッサは、候補フィルポイントをループスルーする。ステップ 2 6 6 では、各候補フィルポイントとステップ 2 2 6 からの選択されたインテリジェントレンジポイントとを比較する。選択されたインテリジェントレンジポイントが候補フィルポイントの定義された閾値距離の範囲内である場合、その候補フィルポイントを削除することができる（ステップ 2 6 8）。そうでなければ、候補フィルポイントは、保存される。この比較動作のための定義された閾値距離は、ユーザ入力または A I アルゴリズムに応答して定義されるパラメータであり得る。ステップ 2 6 4 で開始されるループは、ステップ 2 6 6 で各候補フィルポイントが保存について考慮された後、ステップ 2 6 8 で終了する。このため、図 2 D のプロセスフローが完了すると、プロセッサは、L A D A R 走査のためのフィルレンジポイントのリストを定義する。

【 0 0 5 8 】

図 9 F は、図 2 C 及び 2 D の動作の結果として、作成することができる例示的なレンジポイントリスト 2 4 0 を示す。図 9 F の例において、各選択されたレンジポイントは、行番号（左側）及び列番号（右側）によって定義される。このリストがレンジポイントの単純な未処理のリストであり得ることを理解すべきである。必要に応じて、施術者は、走査 L A D A R 伝送システム 1 0 4 によって用いられる動的走査パターンに対するレンジポイントに順序を課すために、レンジポイントリストをさらに処理することができる。すなわち、レンジポイントリストに関する各レンジポイントは、走査 L A D A R 伝送システム 1 0 4 のためのレンジポイントのショット順序を定義するリストに関する他のレンジポイントと共にシーケンス内に配置することができる。説明されるように、ショットリストへのレンジポイントリストのこの翻訳は、プロセッサによってステップ 2 0 4 で実行することができる。

【 0 0 5 9 】

前述のように、ショットリストは、走査 L A D A R 伝送装置システム 1 0 4 によってショットされるレンジポイントのための順序を定義する。より詳細に後述される図 9 A ~ 9 F は、レンジポイントリスト 2 4 0 をショットリストに翻訳するために使用することができるプロセスフローの例を示す。

【 0 0 6 0 】

図 9 F はまた、レンジポイントリスト 2 4 0 から作成される例示的なショットリスト 9 5 0 を示す。この例では、順序は、ショットリストに関してより高いレンジポイントが、ショットリストに関してより低いレンジポイントの前にショットされるトップダウン順序によって定義される（例えば、行（「 S r o w 」） 1 0 4、列（「 S C o l 」） 1 9 におけるレンジポイントは、行（「 S r o w 」） 1 0 4、列（「 S C o l 」） 2 6 等におけるレンジポイントの前にショットされる）。左端及び中央列は、それぞれ、ショットリストに関する所与のレンジポイントについての行番号及び列番号を定義する。ショットリスト表における他の列は、図 9 A ~ F に関連して後述するように、追加の制御情報を走査 L A D A R 伝送装置システム 1 0 4 に提供する。図 9 F の例示的なショットリストは、伝送レーザのための最小間隔パラメータなどの要素に起因して、ステップ 2 0 4 で加えられたフィルショットも含む。

【 0 0 6 1 】

図 9 F の例示的なショットリストは、走査 L A D A R 伝送システム 1 0 4 に提供されて

その動作を統治する制御情報 112 として機能することができる。図 2 C 及び 9 F の例示的な実施形態は、ショットリストに関するレンジポイントがバッチとして走査 L A D A R 伝送システム 104 に送出される配置を記載するが、代替的に、ショットリストにおけるショットは、それが識別されると各ショットが走査 L A D A R 伝送システムに伝えられるロールベースの走査 L A D A R 伝送システムに通信されることを理解すべきである。このように、ショットリストは、走査 L A D A R 伝送システム 104 に送出され、これによりバッチモード及びロールモードの両方で処理することができる。

【0062】

走査 L A D A R 伝送システム 104

図 3 は、走査 L A D A R 伝送システム 104 のための例示的な実施形態を示す。システム 104 は、レーザ光学系 302、ビームスキャナ 304、及び伝送光学系 306 と光学的に整合するレーザ光源 300 を含むことができる。これらの構成要素は、所望のアプリケーションで使用するのに好適な形状のフットプリントを提供するパッケージ内に収容することができる。例えば、レーザ源 300 がファイバレーザまたはファイバ結合レーザである実施形態について、レーザ光学系 302、ビームスキャナ 304、及び任意の受信装置の構成要素は、レーザ源 300 を含まない第 1 のパッケージ内に共に収容することができる。レーザ源 300 は、第 2 のパッケージ内に収容することができ、ファイバを使用して、第 1 のパッケージと第 2 のパッケージとを接続することができる。このような配置により、レーザ源 300 が不在となるために、第 1 のパッケージをより小さく、かつよりコンパクトにすることができる。さらに、レーザ源 300 は、ファイバ接続によって第 1 のパッケージから遠隔に位置付けすることができるので、このような配置は、システムのフットプリントに関してより大きなフレキシビリティを施術者に提供する。

【0063】

制御情報 112、例えば、図 2 A のステップ 204 で作成されるショットリストに基づいて、ビームスキャナ制御装置 308 は、ビームスキャナ 304 によって実行される走査の性質を制御するだけでなく、レーザ源 300 の発射を制御するように構成することができる。閉ループフィードバックシステム 310 は、ビームスキャナ 304 及びビームスキャナ制御装置 308 に対して用いられ、その結果、後述するように、ビームスキャナ 304 の走査位置を精密に制御することができる。

【0064】

レーザ源 300 は、本明細書において記載される L A D A R パルス伝送に好適な多数のレーザタイプのいずれかであり得る。

【0065】

例えば、レーザ源 300 は、パルス化ファイバレーザであり得る。パルス化ファイバレーザは、約 $1 \sim 4 \text{ ns}$ のパルス幅、及び約 $0.1 \sim 100 \mu\text{J}$ / パルスのエネルギー含量を用いることができる。パルス化レーザファイバのための繰り返し率は、 kHz レンジ（例えば、約 $1 \sim 500 \text{ kHz}$ ）であり得る。さらに、パルス化ファイバレーザは、単一パルス方式及び/または多重パルス方式（図 12 A 及び 12 B 参照）を用いることができる。しかしながら、これらのレーザ特性のために他の値を使用することができることを理解すべきである。例えば、より低いまたはより高いエネルギーパルスを用いる場合がある。別の例として、繰り返し率は、より高い、例えば 10^7 s の MHz レンジであり得る（けれども、このような高い繰り返し率は、現在の市場価格下で比較的高価なレーザ源の使用を必要とすることが予想される）。

【0066】

別の例として、レーザ源 300 は、パルス化 I R ダイオードレーザであり得る（ファイバ結合の有無に関わらず）。パルス化 I R ダイオードレーザは、約 $1 \sim 4 \text{ ns}$ のパルス幅、及び約 $0.01 \sim 10 \mu\text{J}$ / パルスのエネルギー含量を用いることができる。パルス化 I R ダイオードファイバのための繰り返し率は、 kHz または MHz レンジ（例えば、約 $1 \sim 5 \text{ kHz}$ ）であり得る。さらに、パルス化 I R ダイオードレーザは、単一パルス方式及び/または多重パルス方式（図 12 A 及び 12 B 参照）を用いることができる。

【 0 0 6 7 】

レーザ光学系 3 0 2 は、レーザ源 3 0 0 によってつくられるレーザビームを平行にするように機能する望遠鏡を含むことができる。レーザ光学系は、所望のビーム発散及びビーム品質を提供するように構成することができる。例として、施術者の要望に応じて、ダイオード対ミラー結合光学系、ダイオード対ファイバ結合光学系、及びファイバ対ミラー結合光学系を用いることができる。

【 0 0 6 8 】

ビームスキャナ 3 0 4 は、所望のレンジポイントが L A D A R パルスによってターゲティングされ得るように、走査能力をシステム 1 0 4 に提供する構成要素である。ビームスキャナは、(レーザ光学系 3 0 2 によって)レーザ源 3 0 0 から入射 L A D A R パルスを受信し、この L A D A R パルスを可動ミラーからの反射によって、所望のダウンレンジ場所(ショットリストに関するレンジポイントなど)に導く。ビームスキャナ制御装置 3 0 8 から受信された駆動電圧波形 3 1 4 によって、ミラー運動を制御することができる。ビームスキャナ 3 0 4 によって多数の構成のいずれかを用いることができる。例えば、ビームスキャナは、二重マイクロ電気機械システム(M E M S)ミラー、回転ポリゴンミラーと組み合わされる M E M S ミラー、または他の配置を含むことができる。好適な M E M S ミラーの例は、単一表面先端/傾斜/ピストン M E M S ミラーである。さらなる例として、例示的な二重 M E M S ミラーの実施形態において、単一表面先端 M E M S ミラー及び単一表面傾斜 M E M S ミラーを使用することができる。しかしながら、これらの M E M S ミラーの配列も用いることができることを理解すべきである。また、二重 M E M S ミラーは、多数の周波数のいずれかで動作することができる。例えば、第 1 の M E M S ミラーが速軸ミラーとして作用し、第 2 の M E M S ミラーが遅軸ミラーとして作用している場合、第 2 の M E M S ミラーと第 1 の M E M S ミラーとの間の共振周波数の比率は、約 1 : 5 ~ 約 1 : 9 の範囲になり得る。しかしながら、施術者は、異なる比率を用いるように選んでもよい。他の配置の別の例としては、小型ガルバノメータミラーを速軸走査ミラーとして使用することができる。別の例として、音響光学的偏向器ミラーを遅軸走査ミラーとして使用することができる。さらに、後述する螺旋動的走査パターンを用いる例示的な実施形態について、ミラーは、共振ガルバノメータミラーであり得る。このような代替的なミラーは、多数の供給元のいずれか、例えば、ニューヨークの E l e c t r o - O p t i c a l P r o d u c t s C o r p o r a t i o n から得ることができる。別の例として、フォトニックビームステアリング装置、例えば、コロラドの V e s c e n t P h o t o n i c s から入手可能なものを遅軸走査ミラーとして使用することができる。さらに別の例として、フェーズドアレイ装置、例えば、D A R P A S W E E P E R プログラムによって開発されているものを速軸及び/または遅軸ミラーの代わりに使用することができる。

【 0 0 6 9 】

また、ビームスキャナ 3 0 4 が二重ミラーを含む例示的な実施形態において、ビームスキャナ 3 0 4 は、第 1 のミラーと第 2 のミラーとの間にリレーイメージング光学系を含んでもよく、これにより 2 つの速軸ミラーの使用が可能になる(例えば、1 つの小さい高速ミラー及び 1 つの長い低速ミラーに対向する 2 つの小さい高速ミラー)。

【 0 0 7 0 】

伝送光学系 3 0 6 は、ビームスキャナ 3 0 4 によってターゲティングされた L A D A R パルスを、開口を通じて所望の場所に伝送するように構成される。伝送光学系は、施術者の要求に応じて、多数の構成のいずれかを有することができる。例えば、伝送光学系 3 0 6 の一部としてダイクロイックビームスプリッタを使用して、環境センシングシステム 1 0 6 及び伝送装置 1 0 4 を 1 つのパスに光学系的に結合することができる。別の例として、伝送光学系は、拡大光学系(その例を図 5 に示す)を含むことができる。さらにまた、アライメントピックオフビームスプリッタは、伝送光学系 3 0 6 の一部として含まれ得る。

【 0 0 7 1 】

ビーム走査構成及び制御

ビームスキャナ制御装置 308 は、所望の走査位置（例えば、走査角度）にビームスキャナのミラーを駆動するビームスキャナ 304 に、1 つ以上の電圧波形 314 を提供することができる。ビームスキャナ 304 内の可動ミラーの振動率が高いと仮定すると、ビームスキャナの走査位置に対する制御の程度は、精密であることが望ましい。ビームスキャナ 304 の第 1 のミラーが、第 1 の軸に対して比較的速い速度（「速軸」）で回転するように機能し、また、ビームスキャナ 304 の第 2 のミラーが、第 1 の軸に垂直な第 2 の軸に対して比較的より遅い速度（「遅軸」）で回転するように機能する例示的な実施形態に関して、LADAR パルスがミラーに入射するときのミラー位置付けにおけるわずかな誤差は、システムパフォーマンスにおいて重要な劣化を引き起こすことがある。

【0072】

図 4A ~ 4C は、この現象を例証する。図 4A は、ビームスキャナ 304 のための所望の走査エリア 400 を示す。しかしながら、精密に遅軸制御（この例では Y 軸）されていない、図 4B によって示すように、Y 軸ミラーが回転の間、整定するのにエリア 404 を必要とするので、使用可能な走査エリア 402 は、走査エリア 400 に対して縮小する。さらに、このセtring 時間は、動的走査パターンにおいてスキップするラインの数の関数として増加し、たとえラインスキップがなかったとしても、やはり整定時間が考慮される。さらにまた、速軸（この例では X 軸）に関して、図 4C によって示されるように、速軸ミラーの走査位置に対する精密な制御が実現されない場合、走査エリアにおいてうねり及び他のアーチファクトを引き起こす、ターゲティングされたレンジポイント 406 において移相が生じることがある。

【0073】

これらの問題の解決策として、閉ループフィードバックシステム 310 を用いて、ビームスキャナ 304 によって用いられる少なくとも 1 つのミラーの走査位置に対して精密な制御を提供することができる。その後、ビームスキャナ制御装置 308 は、閉ループフィードバックシステムからのフィードバック情報を使用して、ミラー駆動波形 314 のうちの少なくとも 1 つを調整することにより、ミラーの位置付けに対するより精密な制御を実現することができる。好ましい実施形態において、このフィードバック制御は、ビームスキャナ 304 の両方のミラーに対して用いられる。

【0074】

図 5 は、閉ループフィードバックと組み合わされるビームスキャナ 304 のための例示的な実施形態を示す。この例では、ビームスキャナ 304 は、二重 MEMS ミラーを含む。Y 軸 MEMS ミラー 500 は、レーザ光学系 302 によってレーザ源 300 から入射レーザパルスを受信するように位置付けられる。X 軸 MEMS ミラー 500 は、このレーザパルスを Y 軸走査 MEMS ミラー 502 に反射する。この反射は、直接反射または間接反射であり得、これによって X 軸 MEMS ミラーから反射されたビームがリレーイメーシング光学系、例えば Y 軸 MEMS ミラー 502 までの途中にある等倍望遠鏡を通過することを理解すべきである。Y 軸 MEMS ミラー 502 は、ミラー 500 からの反射レーザパルスを受信するように位置付けられ、ビームスキャナ 304 によってターゲティングされているショットリストのレンジポイントに対応する走査エリア 510 内の場所にこのレーザパルスをさらに反射する。

【0075】

MEMS ミラー 500 及び 502 は、そのそれぞれの回転軸周りを制御可能に回転することができる。X 軸 MEMS ミラー 500 は、走査エリアの X 軸に沿って走査エリア 510 内で LADAR パルスの位置を制御するように回転可能であり、一方、Y 軸 MEMS ミラー 502 は、走査エリアの Y 軸に沿って走査エリア 510 内で LADAR パルスの位置を制御するように回転可能である。このため、レーザパルスが各ミラーに達するときのそのそれぞれの回転軸に沿ったミラー 500 及び 502 の複合位置付けは、レーザパルスを走査エリア 510 内の所望の場所に導くのに効果的である。この例示的な実施形態において、X 軸 MEMS ミラー 500 は、Y 軸 MEMS ミラー 502 より比較的速い速度で回転することができ、それ故に、X 軸 MEMS ミラーは、速軸ミラーとし参照され、Y 軸 M E

10

20

30

40

50

M Sミラーは、遅軸ミラーとして参照される。

【0076】

X軸としての速軸及びY軸としての遅軸の表記は、システムにとって適所で90度ターンすることにより、X軸が遅軸及びY軸が速軸になることを施術者に理解されるべきである。さらに、例示的な実施形態において、速軸ミラーは、ミラー面積の点で遅軸ミラーより小さく、また遅軸ミラーから上流に位置付けられる(すなわち、速軸ミラーは、L A D A Rパルスを受信して、ターゲティングされたレンジポイントに向けて伝送するために遅軸ミラーにそれを反射する)。しかしながら、この構成は、他の実施形態のために変化させることができる。例えば、遅軸ミラーを速軸ミラーより大きくすることは、走査エリアをより大きくすることができる点で利点を提供するが、走査エリアのサイズの減少が許される実施形態の場合、遅軸ミラーは、速軸ミラーと同じサイズまたはより小さいサイズになり得る。別の例として、もし速軸ミラーが遅軸ミラーからの下流にある場合、再イメージング光学系、例えばリレーイメージング光学系は、2つのミラー間で使用されてこのような配置をサポートすることができる。

10

【0077】

さらに、伝送光学系306は、導かれたレーザパルスの視野拡大を提供するように構成することができる。

【0078】

X軸閉ループフィードバックシステム504を使用して、X軸MEMSミラー500の位置付けに対して精密な制御を実現することができる。Y軸閉ループフィードバックシステム506を使用して、Y軸MEMSミラー502の位置付けに対して精密な制御を実現することができる。上記のように、X軸及びY軸ミラー500及び502の両方に対してフィードバック制御を用いることが好ましいが、フィードバック設計ではない開ループに対するパフォーマンスにおける改善は、ミラーのうちの1つのみにフィードバック制御を適用することによって、やはり実現することができると考えられる。例えば、施術者は、Y軸フィードバック制御システム506のみを用いるように選ぶ場合がある。別の例として、施術者は、X軸フィードバック制御システム504のみを用いるように選ぶ場合がある。

20

【0079】

図6Aは、閉フィードバック制御が、どのようにY軸ミラー502のために実装され得るかの例示的な実施形態を示す。この例では、閉ループフィードバック制御は、閉ループ光学フィードバック制御である。ミラー502は、回転軸622周りを回転し、ミラー502の前面からの反射によって所望のように入射L A D A Rパルス620を導く。レーザ600は、ミラー502の裏面606でターゲティングされる。レーザ600は、位置検出に好適な任意のタイプのレーザであり得る。例えば、レーザ600は、パルス化または連続波(CW)可視ダイオードレーザであり得る。レーザ600は、様々なパルス幅を呈し、uWからmWレンジにおける電力をつくることができる。

30

【0080】

レーザ600によってつくられたレーザビーム604は、ミラー502の裏面606に反射され、Y軸位置感応検出装置602は、この反射光を受信するように位置付けされ得る。検出装置602は、単軸位置センシング検出装置であり得る。回転軸622に対するミラー502の角度位置は、反射されたレーザビーム604が検出装置602によって受信される場所に影響を及ぼす。このため、位置検出装置602は、ミラー502の実位置を示すデータを感知することが可能である。その後、この感知されたデータは、Y軸ミラー制御を改善するために608によってフィードバックされ得る。

40

【0081】

図6Bは、閉フィードバック制御がX軸ミラー500のためにどのように実装され得るかの例示的な実施形態を示し、図6Aの例と同じ様式で動作する。ミラー500は、回転軸632周りを回転し、ミラー500の前面からの反射によって所望のように入射L A D A Rパルス630を導く。レーザ610は、ミラー500の裏面616でターゲティング

50

される。レーザ 6 1 0 は、レーザ 6 0 0 と同様のレーザであり得る。

【 0 0 8 2 】

レーザ 6 1 0 によってつくられたレーザビーム 6 1 4 は、ミラー 5 0 0 の裏面 6 1 6 に反射され、X 軸位置感応検出装置 6 1 2 は、この反射光を受信するように位置付けされ得る。回動軸 6 3 2 に対するミラー 5 0 0 の角度位置は、反射されたレーザビーム 6 1 4 が検出装置 6 1 2 によって受信される場所に影響を及ぼす。このため、位置検出装置 6 1 2 は、ミラー 5 0 0 の実位置を示すデータを感知することが可能である。次に、この感知されたデータは、X 軸ミラー制御を改善するために 6 1 8 によってフィードバックされ得る。

【 0 0 8 3 】

図 6 C は、ミラー位置付けの閉ループフィードバック制御のための別の例示的な実施形態を示す。共に使用される場合、図 6 A 及び 6 B の例は、2 つのレーザ 6 0 0 及び 6 1 0 ならびに 2 つの位置検出装置 6 0 2 及び 6 1 2 を用いてミラー位置を検出するが、図 6 C の例は、単一レーザ 6 5 0 及び単一 2 軸位置感応検出装置 6 6 2 を用いる。

【 0 0 8 4 】

図 6 C の例により、ダイクロイックビームスプリッタまたはピックアップミラーなどのビームスプリッタ 6 5 4 は、レーザパルスがミラー 5 0 0 に達する前に、レーザ光学系 3 0 2 から放射されるレーザパルスを遮断するように位置付けられる。アライメントレーザ 6 5 0 はまた、アライメントレーザビーム 6 5 2 をビームスプリッタ 6 5 4 へ導くように位置付けられる。ダイクロイックビームスプリッタ (ビームコンバイナとして作用する) は、レーザ源 3 0 0 からのレーザビームをアライメントレーザビーム 6 5 2 と共整合する。このため、整合されたレーザビームは、レーザがミラー回動面内に完全にある、すなわちミラーの回動軸に垂直となるように、ミラー 5 0 0 に入射する。ダイクロイックビームスプリッタ 6 5 4 は、このような共整合を実現するように位置付けることができ、レーザ 3 0 0 とアライメントレーザ 6 5 0 との間の組み合わせ角度は、90 度が典型的である。レーザ 6 5 0 は、可視 C W または高繰り返し率のパルス化ダイオードレーザであり得る。

【 0 0 8 5 】

また、ピックアップビームスプリッタなどのビームスプリッタ 6 5 6 は、ミラー 5 0 2 からの反射されたレーザ光を遮断するように位置付けられ得、これはレーザ源 3 0 0 によって作成されたターゲティング L A D A R パルス 6 6 6 及びレーザ 6 5 0 によって作成されたアライメントレーザビーム 6 5 2 を共に含む。ビームスプリッタ 6 5 6 は、ターゲティングされたレンジポイントに向けて L A D A R パルス 6 6 6 を導くと同時に少量の光も再イメージングレンズ 6 5 8 へ反射する。再イメージングレンズ 6 5 8 は、2 軸位置感応検出装置 6 6 2 へ走査フィールド 5 1 0 を最終的に再イメージする。位置検出装置 6 6 2 は、2 軸に沿って反射されたアライメントレーザビーム 6 5 2 の位置を検出することが可能であり、この検出された位置は、ミラー 5 0 0 及び 5 0 2 の両方についての実位置を示すデータとして機能することができる。次に、この感知されたデータは、X 軸及び Y 軸ミラー制御を改善するために 6 6 4 によってフィードバックされ得る。

【 0 0 8 6 】

図 7 A は、ミラー走査位置のための駆動波形に調整補正を駆動するために使用することができる誤差信号を作成するために、閉ループフィードバックシステム 3 1 0 が位置検出装置から感知された位置データを処理することができる例示的な配置を示す。この例において、閉ループフィードバックシステム 3 1 0 を使用して、スキャナ 3 0 4 において M E M S ミラー 5 0 0 / 5 0 2) の位置付けを精密に同調する。ビームスキャナ制御装置 3 0 8 及びスキャナ 3 0 4 内の M E M S 駆動装置は、M E M S 駆動電圧 7 0 0 を M E M S ミラー 5 0 0 / 5 0 2 に適用する。これにより、所望のミラー位置にミラーの機械的運動 7 0 2 をもたらす。しかしながら、上述のように、閉ループフィードバックシステムによって軽減される、この位置付けにおいてある程度の誤差が存在し得ることが予想される。図 6 A ~ C の例示的な実施形態に関連して説明されるように、光学ビーム偏向 7 0 4 は、図 6 A ~ C の例示的な実施形態に関連して記載される位置センサ 6 0 2 / 6 1 2 / 6 6 2 のい

10

20

30

40

50

ずれかによって感知することができる。位置センサは、信号処理目的のための位置センサによって感知される信号を増幅するように機能するトランスインピーダンス増幅器（TIA）を伴ってもよい。位置センサは、MEMSミラーの実位置を示す感知されたミラー位置データ706をつくることができる。これにより、Y軸ミラーは、走査エリアのRow 3をターゲティングすることが予想されたが、Y軸ミラーについて感知された実位置が走査エリアのRow 4をターゲティングするのが効果的であった場合、フィードバックシステムは、1行下方の誤差を検出することができる。この誤差測定は、ビームスキャナ制御装置308に供給することができ、その結果、ビームスキャナ制御装置は、Y軸ミラーのための駆動波形を調整し、1行上方の調整を実現することができる。

【0087】

10

感知されたミラー位置データ706は、測定された誤差712を計算するために、コンパレータ710による入力として使用される所望のミラー位置データ708と合わせることができる。測定された誤差712は、実位置と予想されたミラー位置との差を示す値であり得る。

【0088】

その後、ビームスキャナ制御装置308は、この測定された誤差712を考慮してMEMS駆動電圧700を調整するために、多数の技術のいずれかを使用して、測定誤差712を考慮して所望のミラー位置データ708を処理してもよい。例えば、このフィードバック制御を実行するために比例積分微分（PID）制御技術を使用してもよい。別の例として、装置逆応答波形を使用することができ、その場合、記憶された応答波形が使用され、実物の装置ステップ応答を無効にし、セトリング時間を減少させる。

20

【0089】

図7Bは、X軸ミラー500及びY軸ミラー502のためのミラー位置を駆動するために使用される場合がある例示的な駆動波形720及び722をそれぞれ示す。この例では、速軸X軸ミラー500は、共振モードにおいて駆動され、一方、遅軸Y軸ミラー502は、駆動波形702がショットリストの関数として変動するポイントツーポイントモードにおいて駆動される。これらの例は、ミラー位置付けを精密に同調するためにフィードバックが使用されない未補正形状の駆動波形を示す。

【0090】

図7Cは、ミラー位置付け誤差が例示的な閉ループフィードバックシステム310によって、どのように補正され得るかの例を示す。

30

【0091】

図7Cの左フレームは、ローパスフィルタリングを行わない例示的なY軸開ループ駆動波形を示す。実ミラー位置に対応する未補正の実位置波形730とコマンドされたミラー位置のための波形732との差によって示すように、もし閉ループフィードバックが実ミラー位置を感知するために使用されない場合、測定された誤差712に対応するかなり重大な誤差が存在する。すなわち、実際、ミラーが所望の位置に向けて動く場合、駆動波形732は、方形波によって所望の位置にミラーを駆動しようとするが、732によって示すように、ミラーは、上下するように所望の位置をオーバーシュートしアンダーシュートして、これはミラー位置付けのためのセトリング時間に対応する。方形波732が、ハイ状態後にロー状態に遷移する場合、このセトリング時間は、セトリングを繰り返す。

40

【0092】

図7Cの右フレームは、例示的なY軸閉ループ駆動波形を示す。この例では、セトリング時間の誤差を減少するために、図7Aに関連して記載される閉ループフィードバックが用いられる。コマンドされた位置のための波形736及び実位置のための波形738の同様の形状で示すように、図7Cの左フレームに示される大きなセトリング時間の誤差を効果的に削除するのに、閉ループフィードバックは効果的である。図7Cに示される全体的な振幅値は、重要度が低く、重要な特性は、各波形の比較形状及びタイミングであることを理解すべきである。

【0093】

50

このように、経時的に検出された誤差信号が減少する、駆動波形に対する閉ループ調整に基づいて、ミラー走査位置に対するより精密な制御を実現することができると考えられる。

【0094】

図6A～Cの例は、閉ループ光学フィードバック制御の使用を記載するが、ミラー走査位置の閉ループフィードバック制御の他のモードを用いることができることを理解すべきである。例えば、閉ループ容量性フィードバック制御を用いてもよい。容量性フィードバックにより、コンデンサは、ミラーのエッジ（第1のコンデンサプレートとして機能する）及び基準金属プレート（第2のコンデンサプレートとして機能する）によって、容量性誘電体として機能するミラーエッジと基準プレートとの間の空気／真空ギャップと共に形成される。ミラーの走査位置が変化する場合、ギャップ距離が変わり、これにより、コンデンサの静電容量が変化することになる。このため、閉ループ容量性フィードバックシステムは、ミラーが走査位置を変化する場合、キャパシタンスの変化を追跡し（電圧測定によって）、実ミラー位置を決定する。決定された実ミラー位置に基づいて、所望の位置に対する誤差を計算することができる。追加の例として、ミラー位置付けの閉ループフィードバック制御のために光学フィードバックまたは容量性フィードバックの異なる形態を使用することができる。

10

【0095】

動的走査パターン

走査LADAR伝送システム104のパフォーマンスをさらに向上させるために、動的走査パターンが用いられることが好ましい。固定走査パターンにより、ビームスキャナ304は、フル走査エリア510を通じて走査し、走査ミラーが所望のレンジポイントをターゲットングするために位置付けされるときに、レーザ源300が発射される。このため、固定走査パターンにより、ショットリスト112に関するレンジポイントの関数として、ミラー走査位置を定義するために使用される駆動波形は、変動しないことが予想される。

20

【0096】

対照的に、動的走査パターンにより、ビームスキャナは、フル走査エリア510を通じて走査せず、その代わりに、ミラーは、ショットリスト112に関する順序レンジポイントの関数として変動する走査パターンに従って、ショットリスト112に関するレンジポイントをターゲットングする。ショットリスト112は、環境センシングシステム106によって取り込まれるフレームからフレームへ変化しているので、走査パターンは、フレームからフレームへ同様に変動するために動的である。

30

【0097】

図8A～Fは、システムによって用いられ得る異なる動的走査パターンの例を示す

【0098】

図8Aは、動的走査パターンのための例示的なベースアドレッシング方式を記載する。全体的な事項として、一般に、最上行にわたって左から右に、その後走査方向が右から左になる下方の次の行に進み、これが同じように続く走査パターンをつくるように、ミラーは走査され、走査方向は、下方の各行を交互にする。しかしながら、最下行から開始して上方へ作動する、かつ／または交互の走査方向を変化して、右から左に開始するなどの代替的なベースパターンを用いることができることを理解すべきである。また、図8Aによって示すように、動的走査パターンは、後述するように、ラインリピート、ラインスキップ、インターラインスキップ、及びインターラインの迂回を含んでもよい。

40

【0099】

ラインリピートにより、ビームスキャナは、X軸に沿って連続する左から右及び右から左の走査の間、伝送装置のためのY軸位置を維持する。ショットリストに関する2つの画素が同じ行内にあるが、シングルパスの間にターゲットングされるには互いに近接し過ぎているときに、ラインリピートが必要になり得る。このような場合、ラインを繰り返すことができ、リターン走査パスの間にショットリストに関する追加画素をターゲットングす

50

ることができる。動的走査パターンのための最小画素間隔を制約することによって、ラインリピートの必要性を統制することができる。最小画素間隔は、レーザ源 300 が連続ショットを発射する最高速度に対応する。また、最小画素間隔パラメータは、共振ビームステアリングが用いられる実施形態において、走査エリア 510 内の位置によって変動し得ることを理解すべきである。

【0100】

サンプルラインリピートのシナリオは、同じ行を共有する 4 画素の群を含むサンプル行エリアに関して、図 8 A によって示される。この例では、最小画素間隔は、5 画素である。レーザ源 300 は、最初に画素 (1) で発射する。次の画素 (2) が 5 画素超離れているので、レーザは、同じパス上の画素で発射することができる。しかしながら、画素 (5) は、アドレス化されるには時間的に近接し過ぎているので、システムは、ラインリピートを実行した後、次のパス上の画素をアドレス化する。このように、左から右の走査の間、レーザ源 300 は、画素 (5) を通過し画素 (3) で発射する。その後、スキャナ及びレーザは、画素 (4) での発射によって行の走査を終了し、同じ行を繰り返すが、このとき右から左に走査する。この次のパスで、画素 (5) は、アドレス化され、スキャナは、次の行へ移動することができる。ラインリピートにより、スキャナは、全ての必要な画素が問い合わせられるまで、行を繰り返すように構成することができる。

【0101】

ラインスキップにより、ビームスキャナは、所与の行の走査パス完了後、複数の行によって、送信装置のための Y 軸位置を調整する。1 つの行または一連の連続する行のためのショットリスト内に画素が存在しないとき、ラインスキップを用いてもよい。例示的なラインスキップは、図 8 A の走査タイミングダイアグラムにおいて示される。

【0102】

インターラインスキップにより、ビームスキャナは、所与の行にわたるフル走査完了前に、伝送装置のための Y 軸位置を調整する。行の隣接部分が大きく空いているとき、インターラインスキップを用いてもよい。このような場合、システムは、ショットリストに対して走査エリアの走査がより速くなる場合、次の 1 または複数の行をアドレス化するように選んでもよい。インターラインスキップの例は、図 8 A の走査タイミングダイアグラムにおいて示される。

【0103】

インターラインの迂回は、インターラインスキップの一種である。インターラインの迂回により、ビームスキャナは、所与の行にわたるフル走査完了前に、伝送装置のための所与の行から新規の行へ Y 軸位置を調整するが、新規の行にわたる走査完了前に、所与の行に戻る。後述するように、インターラインの迂回は、通常のラスタ軌道において現在の行からの日和見主義的及び有益な迂回として機能し、同じ行において別の画素に近接し過ぎているために、通常はスキップされる必要がある、行内の画素または画素をアドレス化することができる。インターラインの迂回の例は、図 8 A の走査タイミングダイアグラムにおいて示される。

【0104】

図 8 B は、図 8 A と関連して述べられるような、ラインリピート、ラインスキップ、インターラインスキップ、及びインターラインの迂回を用いる例示的な動的走査パターンを示す。X 軸ミラーが、共振周波数で速軸ミラーとして 2 つの方向で走査し、Y 軸ミラーが、非共振のポイントツーポイントモードにおいて遅軸ミラーとして 2 つの方向で走査する、二重走査ミラーを含むビームスキャナによって、図 8 B の動的走査パターンを用いることができる。閉ループフィードバック制御、例えば図 6 A ~ C に関連して記載される閉ループ光学フィードバック制御を用いて、Y 軸ミラーの位相ドリフト補正及び X 軸ミラーのための高速セトリング時間を提供することができる。このため、例示的な実施形態において、光学フィードバック制御は、Y 軸のセトリング時間及び X 軸の移相の問題を軽減することができる。前述のように、2 方向の Y 軸運動及びインターラインの迂回により、Y 軸は、図 8 B のインターラインの迂回例によって示すように、シングル水平走査パスの間、

10

20

30

40

50

それ自体を遂行しないことが可能である。インターラインスキップ／迂回は、スキャナ効率を向上させ、フレーム時間を減少させることができる（すなわち、フレームレートを増加させる）。

【 0 1 0 5 】

図 8 C は、ラインリピート、ラインスキップ、インターラインスキップ、及びインターラインの迂回を同様に用いる、例示的な動的走査パターンを示すが、図 8 C の動的走査パターンは、走査 Y 軸ミラー（Y 軸 MEMS ミラーなど）及び X 軸回転ポリゴンミラーを含むビームスキャナによって用いることができる。X 軸回転ポリゴンミラーは、非共振モードにおいて速軸ミラーとして 1 つの方向で走査し、Y 軸 MEMS ミラーは、非共振のポイントツーポイントモードにおいて遅軸ミラーとして 2 つの方向で走査する。閉ループフィードバック制御、例えば図 6 A ~ C に関連して記載される閉ループ光学フィードバック制御を用いて、X 軸ミラーの位相ドリフト補正及び Y 軸ミラーのための高速セトリング時間を提供することができる。任意選択的に、光学フィードバックの代わりに閉ループ位置エンコーダを使用して、回転ポリゴンミラーの位置付けを精密に制御することができる。図 8 B の動的走査パターンと 8 C の動的走査パターンとの主な機能的な差は、図 8 C の動的走査パターンは、1 つの方向でのみ走査することができ、共振様式において走査しないことである。

【 0 1 0 6 】

図 8 D は、螺旋パターン、例えば楕円状／長円螺旋において走査する例示的な動的走査パターンを示す。図 8 D の動的走査パターンは、楕円リピート、楕円スキップ、楕円間スキップ、及び楕円間の迂回をサポートすることができ、それらは、図 8 A ~ C に関連してそれぞれ述べられるラインリピート、ラインスキップ、インターラインスキップ、及びインターラインの迂回の楕円状類似体である。ビームスキャナは、X 軸 MEMS ミラー及び Y 軸 MEMS ミラーなどの二重走査ミラーを用いることができる。X 軸及び Y 軸ミラー共に、共振モードにおいて 2 つの方向で走査することができる。図 8 D によって示される走査パターンを用いるスキャナは、2 つのミラー間にリレーイメージング光学系を含むことが予想される。両方のミラーは、共振周波数付近で走査することができ、それは第 1 の共振周波数であってもよい。図 8 D は、2 つの単軸ミラーが、それらの共振周波数（両方とも同じ周波数及び位相）付近またはそれらの共振周波数のうちの 1 つで動作している例示的な楕円状／長円螺旋パターンを示す。螺旋の振幅は、ミラーに関する駆動電圧の振幅によって制御される。図 8 B の動的走査パターンと同様に、同じ概念を適用するが、同心の楕円は、「行」または「速軸」であり、画素は環内にある。「列」または「遅軸」は、両方のミラーの振幅によってアドレス化される。螺旋パターンは、同心の長円環の間の遷移から生じる。環は、フル旋回（楕円スキップ）後、またはフル旋回（楕円間スキップまたは楕円間の迂回）の間に、図 8 B の「ラスタ様」の動的走査パターンとまさに同じ様にリピートまたはスキップすることができる。閉ループフィードバック制御、例えば、図 6 A ~ C に関連して記載される閉ループ光学フィードバック制御を用いて、ミラー走査位置を精密に制御することができる。

【 0 1 0 7 】

図 8 A ~ C の動的走査パターンは、ベース走査パターンとして特徴付けることができる。これらのベース走査パターンは、より高レベルのマクロ動的走査パターン、例えば、図 8 E 及び 8 F に関連して示されるものに埋め込むことができる。

【 0 1 0 8 】

図 8 E は、走査エリアが複数のブロックに分割され、スキャナがブロックからブロックへ進む場合、ベース動的走査パターンが各ブロックの一部内で実施される、例示的なマクロ動的走査パターンを示す。例として、図 8 B 及び 8 C の動的走査パターン（または他の動的走査パターン）は、各ブロック部分内に埋め込むことができる。

【 0 1 0 9 】

リセットジッタは、大ブロックの画素が比較的隣接する走査のためにアドレス化されるときに起こることがあり、このリセットジッタは、信号対雑音比（S N R）の劣化につな

10

20

30

40

50

がり得る。この起こり得る S N R の劣化を低減するために、動的走査パターンは、ショットリストによって定義された走査エリアをより小さいブロックに分けることができる。これらのより小さいブロックのサイズは、L A D A R 受信装置にとって所望の最大量の背景光によって左右され得る。このため、ブロック構造を用いる L A D A R 受信装置について、ブロックサイズは、これらのブロックに対応することができる。各ブロックは、図 8 E で示すように、スキャナによって、数回、再訪問され得る。1つのフレームは、示すようにいくつかのインターレースサブフレームに分裂される。各サブフレームは、マクロパターンでの Y 軸 / 遅軸の方向における変化に対応する。図 8 E の例は、5つのサブフレームを有する 3 ブロックフレームを示し、各ブロック内にいくつかの行が存在する。

【 0 1 1 0 】

10

このマクロパターンは、1つのパスにおいて共に分類することができる画素の総数によってブロックを実質的に分割する。前述のように、その数は、S N R などのパラメータに依存し得る。図 8 E は、動的マクロ走査パターンの例を示す。図 8 E の例において、1番目及び最後のブロックは、タイミングが順序正しくなるように、他のブロックより少し多くの画素を各サブフレームにアドレス化し、これによって、それらの画素における S N R が少し小さくなる。しかしながら、これは、フレームの中央の画素から離れているので、S N R におけるこの低下は、多くのアプリケーションにおいて許容され得る。

【 0 1 1 1 】

図 8 F は、図 8 E のマクロ走査パターンと同様の例示的なマクロ動的走査パターンを示すが、マクロ走査は、前に 2 つのブロックのブロック部分間を切り替えた後、次の 2 つのブロックに進む。言い換えれば、スキャナは、その対のブロック内の全てのレンジポイントがアドレス化されるまで、対のブロック間をピンポンし、その後、スキャナは、別の対のブロックへ移動し、繰り返す。図 8 E と同様に、図 8 B 及び 8 C の動的走査パターン（または他の動的走査パターン）は、図 8 F のマクロ走査パターンの各ブロック部分内に埋め込むことができる。

20

【 0 1 1 2 】

レンジポイントリストのショットリストへの翻訳

多数の処理規則のいずれかを使用して、レンジポイントリスト 2 4 0 をショットリストに翻訳することができる。上記のように、レンジポイントリスト 2 4 0 のショットリストへの翻訳（図 2 A におけるステップ 2 0 4 参照）は、プロセッサ 1 2 0 によって、またはビームスキャナ制御装置 3 0 8 によって実行することができる。規則は、ハードウェア（例えば、フィールドプログラマブルゲートアレイ（F P G A ）もしくは特定用途向け集積回路（A S I C ））、またはその 2 つのいくつかの組み合わせ内に実装されたソフトウェアにおいて実施することができる。このように、レンジポイントリストからショットリストへの翻訳を実行するために使用されるプロセッサは、限定されないが、マイクロプロセッサ、F P G A 、A S I C などを含む、プロセッサ 1 2 0 またはビームスキャナ制御装置 3 0 8 内での使用に好適な任意のプロセッサであり得る。図 9 A は、ショットリストがインターラインスキップ（しかし、インターラインの迂回を含まない）を適応させるこのような翻訳のための例示的プロセスフローを示す。図 9 B は、ショットリストがインターラインの迂回を含むインターラインスキップを適応させる、レンジポイントをショットリストに翻訳するための例示的プロセスフローを示す。

30

40

【 0 1 1 3 】

図 9 A で示すように、レンジポイントリスト 2 4 0 は、プロセスフローへの入力として機能する。ステップ 9 0 0 では、レンジポイントリストの第 1 の N 行は、バッファ 9 5 0 にロードされる。この例では、レンジポイントリストが少なくとも行順序（例えば、最上行から開始して下方へ進む）において、レンジポイントをすでに有していると推定される。しかしながら、そうでない場合、第 1 の N 行をバッファ 9 5 0 にロードすることができるように、プロセスフローは、レンジポイントを行順序にソートすることもできる。この例示的な実施形態において、N についての値は 2 であり、その場合、バッファは、Row Y 1 及び Row Y 2 のためのレンジポイントを保持してもよく、各行は 1 つ以上のレ

50

レンジポイントを含む。2 - 行入力バッファの使用は、例示のみであり、施術者は、レンジポイントのN行（ここでは $N > 2$ ）の考慮をサポートする大きいバッファを用いるように選んでもよいことを理解すべきである。所与の時間における評価のもとでの行及び画素の数のこのような増加は、追加処理ステップ及び追加バッファスペースを必要とするが、施術者は、このようなプロセスフローを実装するときに、図9A及び9Bによって提供される2 - 行の例からのガイダンスを頼ることができる。また、ショットリストにスケジューリングするためにN行のバッファから画素を読み取るようにプロセスフローが動作する場合、ステップ900は、各行が完了されるにつれて、次の行を有する更新バッファ950を保持するように動作することを理解すべきである。

【0114】

ステップ902では、プロセッサは、画素をバッファの行にソートして、各画素を走査方向でタグ付けする。ショットリストのためのデフォルト走査パターンは、行ごとに左から右の走査である走査パターンであり得る。別のオプションは、第1の行については左から右の走査方向であり、第2の行については右から左の走査方向に変化し、そして後続の行については交互の走査方向を継続するデフォルト走査パターンである。図9Aの例示的な実施形態において、デフォルト走査パターンは、行ごとに左から右の走査方向であり得る。

【0115】

ステップ902により、各行内の画素は、それらがデフォルト走査パターンに従って順序付けられるようにソートされる。このように、左から右の走査パターンを有する行については、左端の画素が第1であり、第2の左端の画素が次であり、最後となる右端の画素までこれが同じように続くように、画素がソートされる。右から左の走査パターンを有する行について、画素は、反対になるようにソートされる。各画素はまた、その画素のための走査方向を識別する制御メタデータでタグ付けされてもよい（例えば、左から右の走査または右から左の走査が画素にヒットするかどうかを示すフラグ）。レンジポイントリスト240は、この様式ですでにプレソートされている図9Aのプロセスフローに到着してもよく、その場合、ステップ902は必要ではないことも理解すべきである。

【0116】

ステップ904では、バッファ950からの第1の2つの画素が読み取られ、評価のための現在の画素及び次の画素候補を識別する。この画素の対を評価して、それらがどのようにショットリストにおいて順序付けされなければならないかを決定することができる。

【0117】

ステップ906では、プロセスフローは、現在の画素と次の画素候補との間のTを計算する。このT値は、スキャナが現在の画素から次の画素候補へ走査するのに必要な時間量を表す。Tは、現在の画素及び次の画素候補のx座標ならびに速軸の正弦波軌道及び周波数の関数として、計算することができる。また、プロセッサは、現在の画素及び次の画素候補のみのためのステップ906を実行することができ、またはステップ908へ進む前に、プロセッサが多数の画素の対についてTを計算するバッチモードにおいて、ステップ906を実行することができる。例えば、バッチモードにおいて、プロセッサは、2 - 行バッファ950において隣接する画素の対ごとのT値を計算することができる。別のバッチモードの例として、プロセッサは、2 - 行バッファ950において、画素について画素の対の可能な順列ごとのT値を計算することができる。

【0118】

次に、ステップ908では、プロセッサは、現在の画素及び次の画素候補のために計算されたTを連続するLADARパルス間に必要である最小時間量（「Min Pulse - to - Pulse Time」）に対応するパラメータと比較する。例示的な実施形態について、Min Pulse - to - Pulse Timeは定数であり、その値は、レーザ源300から必要とされる最大レンジまたは最小エネルギーの関数として設定される。例えば、ファイバレーザが使用される実施形態について、ファイバレーザは、それから必要とされる最小エネルギー量を有し、レーザ再充電時間が、この最小エネルギー量

10

20

30

40

50

が蓄積されるのに十分な長さとなるように、Min Pulse-to-Pulse Time が設定される。さらに、レーザ源のためのパルスレートが、特性、例えばレンジ及び SNR に影響を及ぼすことを理解すべきである。例えば、パルスレートを低下させることによって、システムのためのレンジは、増大する。このように、Min Pulse-to-Pulse Time は、例示的な実施形態において定数であるが、この定数がシステムレベル設定として調整可能であり得ることを理解すべきである。さらに、Min Pulse-to-Pulse Time は、視野 / 走査エリア内のどこも同じである必要がないことを理解すべきである。

【0119】

ステップ 908 が、計算された T が Min Pulse-to-Pulse Time 未満であるという決定をもたらす場合、これは、次の画素候補が現在の画素に近接し過ぎていることを意味し、その場合、次の画素候補は、スキャナの次のパスのためにスケジューリングされる。このように、ステップ 910 では、次の画素候補は、スキップされた最後が第 1 のヒット（すなわち LIFO または後入れ先出し）であるフォーマットにおいて、その行のリターン走査のためのショットリストバッファ 952 にスケジューリングされる。これは、ラインリピートが次の画素候補にレーザを発する必要がある、次の画素候補がリターン走査にレーザを発する必要がある現在の行の任意の他の画素の後にショットリストに入れられることを意味する。ラインリピートにフラグを立てるために、次の画素候補を反対の走査方向で再タグ付けすることができる。ソートされた行のためのデフォルト走査パターンが交互の走査方向である状況において、ラインリピートは、次の行内の画素がデフォルト走査パターンに対して反対の走査方向からヒットされることも意味することができ、その場合、ステップ 910 はまた、その以前の走査方向に対して反対の走査方向によって次の行内の画素を再タグ付けし、その新規の走査方向に従って、その再タグ付けされた画素を再ソートすることも理解すべきである。

【0120】

その後、ステップ 912 では、新規の次の画素候補が、現在の次の画素候補の直後であるレンジポイントリストバッファ 950 内の画素になるように、プロセッサは、次の画素候補をインクリメントする（新規の次の画素候補が次の行に関する場合を除いて、現在の画素が新規の次の画素候補に対して次に評価され得るように、現在の画素は、現在の画素のままであるが、その場合、プロセッサは、新規の現在の画素として次の行内の第 1 の画素、及び新規の次の画素候補として次の行の第 1 の画素の後の画素を使用する）。次の画素が次の行に関する状況において、次の行に関する画素は、再ソートされて、反対の走査方向で再タグ付けされる必要があることを留意すべきである。その後、プロセッサは、ステップ 906 に戻り、プロセスフローを繰り返す。図 9 E は、例えば図 9 A によって示されるものなどのプロセスフローの結果として、インターラインスキップが存在するショットリストの例を示す。

【0121】

ステップ 908 が、計算された T が Min Pulse-to-Pulse Time 以上であるという決定をもたらす場合、これは、スキャナが現在の画素にレーザを発し、次の画素に対して走査し、次の画素にレーザを発するのに十分な時間量が存在することを意味する。このように、次の画素候補は、ショットリストにおいて現在の画素の後の次の画素としてスケジューリングされ得る。しかしながら、プロセッサは、それがインターラインスキップのための候補であるかどうかを判断するために、次画素もテストする（ステップ 914）。

【0122】

ステップ 914 で可能なインターラインスキップのための次の画素候補をテストするために、プロセッサは、満たされるべき 2 つの条件を探す：（1）現在の画素及び次の画素候補は、異なる行にあり、かつ（2）ラインリピートは、リターン走査において現在の行に関する画素をヒットする必要がない。これらの条件が満たされない場合、その後、次の画素候補は、インターラインスキップ候補ではなく、次の画素候補は、ステップ 918 に

においてショットリストバッファ952内の次の画素としてスケジュールされる（その場合、インターラインスキップは使用されない）。これらの2つの条件が満たされる場合、その後、ステップ916において、プロセッサは、スキャナが現在の画素にレーザを発し、新規の行に関する次の画素候補に対して走査し、その次の画素候補にレーザを発するのに十分な時間が存在するかどうかを決定する。この決定をするために、計算された T は、 $SkipTime(N)$ パラメータと比較される。 $SkipTime(N)$ パラメータは、スキャナが現在の行から次の行へジャンプするために必要である最小時間量を定義する。 N の値は、考慮のもとでバッファ内の行の数に対応することができる。

【0123】

T が $SkipTime(N)$ 未満である場合、これは、スキャナが次の行へジャンプし、次の画素候補をヒットするのに時間が不十分であることを意味する。この状況において、プロセスフローは、ステップ918へ進み、次の画素候補は、インターラインスキップをしない次の画素としてスケジュールされる。これは、スキャナが現在の行から行の最後までその走査を継続し、次の行へジャンプし、次の画素候補に対して反対方向で走査することを意味する。このように、次の画素は、スキャナによって使用される走査方向の点から、その走査方向を変化させて、その画素に到達するように再タグ付けされる必要があり得る。

【0124】

T が $SkipTime(N)$ 超である場合、これは、スキャナが次の行へジャンプし、次の画素をヒットするのに十分な時間量が存在することを意味する。この状況において、プロセスフローは、ステップ922へ進む。ステップ922では、(1) 次の画素候補は、ショットリストバッファ952内の次の画素としてスケジュールされ、(2) 現在の画素は、次の画素がインターラインスキップを必要とすることをスキャナに通知するために、インターラインスキップアラートでタグ付けされる。

【0125】

ステップ920は、ステップ918またはステップ922から到達することができる。ステップ920では、プロセッサは、現在の画素及び次の画素候補をインクリメントする。現在の次の画素候補は、新規の現在の画素になり、新規の次の画素候補は、バッファ950から引き出される。バッファ950内の次の画素が次の行に関する場合、その後、プロセッサは、その画素をターゲティングするために使用される走査方向を適応させるために、新規の次の画素候補を読み取る前に次の行の画素を再ソートする（及びそれらの走査方向を変化させる）必要があり得る。例えば、新規の現在の画素が $x5y1$ （行1に位置し、左から右の走査方向を有する）であり、バッファ950内の次の画素が画素 $x2y2$ （行2に位置し、左から右の走査方向を有する）であるが、画素 $x2y2$ は、画素 $x6y2$ 及び $x9y2$ （ここで、 $x6y2$ 及び $x9y2$ は、バッファ950内の行2についての残りの画素である）と行2を共有すると仮定する。行2について所望の右から左の走査方向に適応させるために、プロセッサは、バッファ950内のそれらの順序が $x9y2$ 、 $x6y2$ 、及び $x2y2$ （ $x2y2$ 、 $x6y2$ 、及び $x9y2$ ではなく）であると同時に、それらのタグ付けされた走査方向を右から左に変化させるように、行2内の画素を再ソートすることができる。このため、 $x9y2$ は、 $x2y2$ ではなく新規の次の画素候補として機能する。その後、プロセッサは、ステップ906に戻り、プロセスフローを繰り返す。

【0126】

このため、図9Aのプロセスフローは、インターラインスキップを有する動的走査パターンをサポートするショットリストバッファ952においてショットリストを生成する。

【0127】

上述のように、図9Bは、インターラインの迂回を含むインターラインスキップをサポートする例示的なプロセスフローを示す。ステップ900～922は、一般に、図9Aに関連して記載されるように動作するが、ステップ914は、ステップ930によって置き換えられ、これは図9Aにおけるステップ914について記載されるようにインターライ

10

20

30

40

50

ンスkipのシナリオのためのテストだけではなく、可能なインターラインの迂回のシナリオのためのテストでもある。

【0128】

インターラインの迂回を適応させるために、図9Bのプロセスフローは、スキャナがその現在の行からN行離れている別の行へ行き、別の行内の1つ以上の画素を訪問し、その後、現在の行内の次の画素へ戻って行くのに必要な最小時間に対応するパラメータも考慮する(「DetourTime(N)」)、ここで、図9Bの例において、 $N = 2$)。DetourTime(N)パラメータは定数であり、その値は、主にY軸の電気機械的特性の関数として設定することができる。

【0129】

このため、図9Bのプロセスフローについて、ステップ930は、次の画素候補がインターラインスキップ候補(図9Aのステップ914参照)であるかどうかを判断するために、現在の画素 - 次の画素候補の対をテストするだけでなく、ステップ930はまた、次の画素候補がインターラインの迂回候補であるかどうかを判断するために、現在の画素 - 次の画素候補の対もテストする。可能なインターラインの迂回について評価するために、プロセッサは、現在の画素及び次の画素候補が同じ行を共有するかどうかをチェックする。それらが同じ行を共有する場合、インターラインの迂回の可能性が存在し、プロセッサはステップ934へ進む。

【0130】

ステップ934では、プロセッサは、インターラインの迂回のための十分な時間が存在するかどうかを決定する。現在の画素及び次の画素候補について計算された T を DetourTime(N)パラメータと比較することによって、そのようにする。

【0131】

ステップ934が、計算された T が DetourTime(N)以下という決定をもたらす場合、その後、プロセッサは、ステップ918へ進み、図9Aに関連して記載されるように動作し、図9Aに関連して記載されるように、プロセスフローを継続する。

【0132】

ステップ934が、計算された T が DetourTime(N)超であるという決定をもたらす場合、これは、インターラインの迂回がスケジュールされる場合があり、プロセッサはステップ936へ進むことを意味する。ステップ936では、プロセッサは、インターラインの迂回の間、訪問することができるレンジポイントリストに関するレンジポイントが存在するかどうかをチェックする。

【0133】

この決定をサポートするために、ステップ932においてプロセッサは、2 - 行バッファ内のどのレンジポイントが2 - 行バッファ内の隣接する画素の対ごとに計算された T 値により、スキップ可能であるかを識別する。すなわち、ステップ930は、それらのレンジポイントが、以前のレンジポイントに近接し過ぎているために、初期のパスではなく、スキャナのリターンパスにターゲットイングされる可能性が高いレンジポイントを識別する。可能な場合、スキャナのリターンパスが走査時間を改善するために回避される場合があるように、インターラインの迂回によって、このようなスキップ可能なレンジポイントをターゲットイングすることが望ましい。ステップ932においてスキップ可能なポイントを識別するときに、プロセッサは、目的の行に関するレンジポイントをターゲットイングするために、スキャナによって使用される走査方向を考慮に入れることができることを理解すべきである。ステップ906が上述のようにバッチモードにおいて動作する場合、ステップ932は、 T 値が Min Pulse - to - Pulse Time 値未満である所与の走査方向について各画素の対の第2の画素を簡単に識別することを伴ってもよい。ステップ906がバッチモードにおいて動作しない場合、その後、ステップ932はまた、スキップ可能なポイントを識別することができるように、2 - 行入力バッファ内の追加画素の対について T 値を計算することを伴ってもよい。

【0134】

例示的な実施形態において、プロセスフローがステップ 936 に分岐する場合、システムが、すでにステップ 936 を実行する準備ができるように、プロセッサは、ステップ 936 がこれまでに到達しているかどうかに関わらず、ステップ 906 を実行した後にステップ 932 を実行する。しかしながら、これは、この場合である必要はない。

【0135】

ステップ 936 では、プロセッサは、2 - 行バッファ内の画素を評価して、インターラインの迂回における次の画素（このような画素は、迂回画素と呼ぶことができる）としてスケジュールすることができるバッファ内の任意の画素が存在するかどうかを決定する。インターラインの迂回のために「訪問可能」と見なされる画素のプールは、次の行内にこれらの画素を含むことができ、その x 値は、（1）現在の画素の x 値の後（スキャナの走査方向を考慮する）（但し、それでもスキャナが次の行へジャンプするのに必要な時間を与えるこのような x 座標にスキャナが到達するのに十分な時間があることを条件とする）、及び（2）次の画素候補の x 値の前（スキャナの走査方向を考慮する）（但し、それでもスキャナが次の画素候補の x 座標に到達するのに十分な時間があることを条件とする）になる。

【0136】

ステップ 936 が、インターラインの迂回のためのそのような訪問可能な画素が 1 つのみ存在するという決定をもたらす場合、その後、その訪問可能な画素は、ステップ 938 においてショットリストバッファ 952 内の次の画素としてスケジュールされる。

【0137】

ステップ 936 が、インターラインの迂回のための複数の訪問可能な画素が存在し、これらの複数の訪問可能な画素間の間隔が、T 制約を違反しないという決定をもたらす場合、その後、シーケンスにおけるこれらの訪問可能な画素は、ステップ 938 においてショットリストバッファ 952 内の次の画素としてスケジュールされる。

【0138】

ステップ 936 が、インターラインの迂回のための複数の訪問可能な画素が存在するが、T 制約のために、その全てがインターラインの迂回のためにスケジュールすることができないという決定をもたらす場合、その後、ステップ 932 においてスキップ可能な画素と識別された訪問可能な画素に、優先権が与えられる。訪問可能でスキップ可能な画素は、ステップ 938 でスケジュールされ、ステップ 938 は、訪問可能でスキップ可能な画素のスケジューリングの点において、T 制約に準拠する場合、任意の残りの訪問可能な画素もスケジュールする。

【0139】

インターラインの迂回のための複数の訪問可能な画素が存在するが、T 制約のためにその全てがインターラインの迂回のためにスケジュールすることができず、訪問可能な画素がステップ 932 において、スキップ可能な画素としていずれも識別されなかったという決定をステップ 936 がもたらす場合、その後、別の優先順位付け方式を使用して、訪問可能な画素のどちらがインターラインの迂回のためにスケジュールされるかを選択することができる（例えば、インターラインの迂回から訪問可能な画素を除去し、この除去によって訪問可能な画素の最大数がインターラインの迂回のために、スケジュール可能になり、訪問可能な画素を単純にスケジュールする結合の場合、その x 値は、現在の画素に最も近い）。複数のスキップ可能で訪問可能な画素が存在するが、T 制約によって、同じインターラインの迂回のためにスケジュールすることができない状況において、スケジューリングを解決するために、同様の優先順位付け方式を使用することができる。

【0140】

ステップ 938 では、インターラインの迂回がショットリスト内の次の画素に対して走査する必要があることを走査に通知するために、現在の画素は、インターラインの迂回アラートでタグ付けすることができる。さらに、インターラインの迂回が次の行に関する画素の全てをヒットするように動作する場合、新規の走査方向は、新規の次の行の画素をヒットする必要がある。このような場合、ステップ 938 は、バッファ 950 内の新規

の次の行の画素を再タグ付けすること及び再ソートすることも伴い得る。プロセッサは、ステップ 938 からステップ 918 へ進み、次の画素候補は、ステップ 938 においてスケジュールされた迂回画素の後のショットリストバッファ 952 内の次の画素としてスケジュールされる。

【0141】

ステップ 936 が、インターラインの迂回のためのいかなる訪問可能な画素も存在しないという決定をもたらす場合、その後、プロセッサは前述したようにステップ 918 へ進む。

【0142】

さらに、画素がインターラインの迂回の一部としてステップ 938 においてスケジュールされるときに、プロセッサは、バッファ 950 からその画素を除去して、それがプロセスフローの実施中に 2 回訪問することを回避することができることを理解すべきである。

【0143】

これにより、図 9B のプロセスフローは、インターラインスキップ及びインターラインの迂回を有する動的走査パターンをサポートするショットリストバッファ 952 内にショットリストを生成する。

【0144】

図 9C は、図 9B のプロセスフローに従って、ショットリストによってスケジュールされるレンジポイントの例示的なシーケンスを示す。画素が、 x 軸ラベル x_i 及び y 軸ラベル y_i によってラベル付けされ、ここで x_i について i の各値は、各行に沿った画素のシーケンシングを示すためにインクリメントされるが、画素間の距離を識別しないことを理解すべきである。このように、画素 $x_1 y_1$ と $x_2 y_1$ との間の x 軸距離は、画素 $x_2 y_1$ と $x_3 y_1$ との間の x 軸距離と同じではない。

【0145】

図 9C において分かるように、ショットリストシーケンスは、画素 $x_1 y_3$ 及び $x_2 y_3$ をショットするためにインターラインの迂回を含む。図 9C の最下ラインは、画素がショットされるシーケンスを識別するショットリストを示し、一方、図 9C の画素グラフは、行及び列を通じる走査進行を示す。ステップ 922 に関して訪問可能な画素のコンセプトをより良く理解するために、画素 $x_1 y_3$ が、インターラインの迂回によって訪問されたのであれば、画素 $x_2 y_1$ からのインターラインの迂回のための訪問可能な画素であることが分かる。しかしながら、画素 $x_2 y_1$ からのインターラインの迂回が考慮されたとき、画素 $x_2 y_3$ は、画素 $x_2 y_1$ からのインターラインの迂回のための訪問可能な画素として適格ではなかった（けれども、画素 $x_2 y_3$ は、画素 $x_3 y_1$ からの訪問可能な画素として適格であった）。画素 $x_2 y_3$ が画素 $x_2 y_1$ からのインターラインの迂回のための訪問可能な画素として適格ではなかった理由は、インターラインの迂回が画素 $x_2 y_1$ から考慮されたとき、次の画素候補は $x_3 y_1$ であって、画素 $x_2 y_3$ の x 軸位置は、画素 $x_3 y_1$ の x 軸位置の後になるためである。このように、画素 $x_2 y_3$ は、画素 $x_2 y_1$ と $x_3 y_1$ との間のインターラインの迂回のための訪問可能なスペース内に入らなかった。

【0146】

図 9D 及び 9E は、図 9B のプロセスフローに従って、ショットリストによってスケジュールされるレンジポイントの別の例示的なシーケンスを示す。この例では、 $x_3 y_1$ の後にショットされるが、 $x_3 y_1$ と $x_4 y_1$ との間隔が小さいために、その行の最初のパスではなくその行のためのスキナのリターンパスに関する画素 $x_4 y_1$ が存在する。図 9C と同様に、図 9D の最下ラインは、画素がショットされるシーケンスを識別するショットリスト部分を示し、一方、図 9D の画素グラフは、行及び列を通じる走査進行を示す。図 9E は、画素 $x_1 y_4$ のショットから画素 $x_1 y_5$ のショットへ進行するためにインターラインスキップを含む、残りの画素のためのショット進行を示す。このため、図 9D 及び 9E のレンジポイントリスト及びショットリストについて、3 つの走査は、画素をショットすることを必要とする。

【0147】

図9Fは、レンジポイントリスト240及びその対応するショットリスト950を示し、ショットリスト950は、図9Bのプロセスフローに従って作成され、Min Pulse-to-Pulse Time (図9Fにおいて「Shot2ShotMinTime」としてラベル付けされる)は、10個の画素に対応し、DetourTime(N)は、50個の画素に対応する(ここで、N=1)。再度、異なる値を使用することができ、さらに、これらの値は、走査フィールドにわたって変動することができることを理解すべきである。

【0148】

ショットリスト950は、ショットリストに関する各画素を伴うメタ情報を含む。例えば、列952によって示すように、ショットリストに関する各画素は、その画素が、左から右へ走査する間(この例では「1」の値)、または右から左へ走査する間(この例では「0」の値)に、スキャナによってショットされるべきかどうかを識別するフラグと関連することができる。別の例として、列954によって示すように、ショットリストに関する各画素は、その画素が実際の間中地点または本当の発射コマンドに対応するかどうかを識別するフラグと関連することができる。画素が本当の発射コマンド画素としてフラグを立てられる場合、これは、レーザ源がこのような画素においてLADARパルスを発射することを意味する。画素が実際の間中地点としてフラグを立てられる場合、これは、スキャナがその画素に対して走査し、それをターゲティングするが、レーザ源は、それに向けてLADARパルスを発射しないことを意味する。実際の間中地点の使用は、いくつかの状況(一定のファイバレーザポンプ源が使用されるときなど)において、有利であり得る。この例では、列954内の「1」の値は、本当の発射コマンドを識別するために機能する。別の例として、列956によって示すように、ショットリストに関する各画素は、LADARパルスのための特定のパルスパターンに対応するコードと関連することができる。異なるパルスパターンの例を後述する。さらに別の例として、列958によって示すように、ショットリストに関する各画素は、インターラインスキップ(インターラインの迂回を含んでもよい)がショットリストに関する次の画素をターゲティングするために必要であったかどうかを識別するフラグによって識別することができる。この例では、「1」の値は、インターラインスキップがショットリストに関する次の画素をターゲティングするために必要であったことを識別する。

【0149】

図9Fの例により、レンジポイントリストのショットリストへの翻訳におけるインターラインスキップ及びインターラインの迂回の使用は、スキャナによって、ショットリストに関する画素をショットするために必要になるパスを1つ少なくすることが分かる。走査パスにおけるこのような低減により、より高いフレームレートをシステムによってサポートすることができる。

【0150】

例示的なビームスキャナ制御装置308

図10は、ショットリストがインターラインスキップ及びインターラインの迂回を含む場合において、二重MEMSミラー500/502の駆動に関連して使用することができるビームスキャナ制御装置308のための例示的な実施形態を示す。加速を提供するために、ビームスキャナ制御装置308は、図10に関連して示すようにその上に展開されるロジックを有するフィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)の形態をとることができる。FPGAの再構成可能なハードウェアロジックによって、サポートされる並列性を活用することによって、ビームスキャナ制御装置308は、加速するように動作することができる。しかしながら、限定されないがマイクロプロセッサ、ASICなどを含む、他のプラットフォームをビームスキャナ制御装置のために使用することができる。

【0151】

図10の例示的な実施形態において、ビームスキャナ制御装置は、FIFO2による入力として、レンジポイントリスト240を受信する。FIFO1を使用して、発射コマン

10

20

30

40

50

ド及び発射コマンドごとに関連するパルスパターンを記憶することができる。パルスパターンは、反射されたLADARパルスを受信するLADAR受信装置の部分に関する干渉のリスクまたは曖昧性を低下させるために、異なるパルスパターンにサイクリング機能を提供するように、FIFO1内に順序付けすることができる。

【0152】

図10の構成要素1000は、図2Aのステップ204を実行するように構成することができる（例えば、インターラインスキップ及びインターラインの迂回の両方を組み込むための図9Bのプロセスフロー）。その後、構成要素1000は、図9Fによって示すように、制御メタデータと共に対にされるショットリスト及び画素ごとに使用されるパルスパターンを出力する。しかしながら、再度、レンジポイントリストのショットリストへの翻訳をプロセッサ120によって実行することができ、その場合、FIFO2への入力は、レンジポイントリストではなくショットリストであることを理解すべきである。

10

【0153】

制御装置308は、スキャナによってターゲティングするため、及びレーザ源によって発射するためのシーケンス(Present Col, Row)においてショットリストから各画素を読み取る。ルックアップテーブル(LUT)を使用して、ショットリストに関する画素について各x軸値及びy軸値をこのような画素をターゲティングするために必要なミラー走査位置に対応するデジタル値に変換することができる。

【0154】

この例では、正弦波軌道による共振モードにおいて速軸として動作する、X軸について、列LUT値を使用して、走査ミラーの軌道内の画素のための適切な時間スロットを識別する。

20

【0155】

この例では、ポイントツーポイントモードにおいて遅軸として動作するY軸について、行LUT値を使用して、所望の走査位置にY軸ミラーを駆動するために必要な電圧を識別する。説明するように、閉ループフィードバック制御を使用して、このY軸位置付けを精密に制御することができる。その後、Y軸駆動電圧の作成は、行LUT及び閉ループフィードバックに基づく。その後、この電圧値は、デジタルアナログ変換器(DAC)に供給されて、Y軸駆動電圧波形を生成することができる。

【0156】

正弦波のX軸波形のためのソースとしてクロックを使用することができる。例として、クロック周波数は、50~100MHzの範囲であり得る。しかしながら、他のクロック周波数を使用することができることを理解すべきである。共振X軸ミラーのためのX軸位置を追跡するために、計数機構を使用して、正弦曲線によるクロック信号変調として、X軸位置を追跡することができる。例えば、X軸のスペースが3226個の位置に分割される場合、カウンタは、X軸位置を追跡するために、正弦波半周期のための0~3225の値によってサイクルすることができる。各カウンタ値は、概してY軸に沿った所与の位置のための時間スロットに対応する。また、信号が正弦波性であると仮定すると、これらの時間スロットが等間隔ではないことを理解すべきである。

30

【0157】

その後、このカウンタ値は、X軸ミラーが現在の画素の列位置のためのターゲットに関するかどうかを判定するために、列LUT値（及び現在の画素のための左から右(L2R)）のフラグと比較することができる。その後、レーザトリガ信号は、ミラーのX軸位置がターゲティングされる現在の画素のX軸位置に対応し、ミラーのY軸位置が現在の画素のY軸位置に対応する適切な時間でレーザドライバに提供することができる。例示的な実施形態において、レーザトリガは、ターゲティングされた画素のための正弦曲線のX軸時間スロットの最中に生じるように時間を合わせることができる。

40

【0158】

レーザ駆動装置は、レーザ装置を駆動するためにこのレーザトリガ信号に応答して、ターゲティングされた画素に向けて、その画素と関連しているパルスパターンに従って、L

50

A D A Rパルスを発射することができる。レーザ駆動装置は、任意の所望のポンプ変調をレーザに提供することもできる。

【 0 1 5 9 】

また、H s y n c 信号は、各行のゼロポイントである場所を識別するためにビームスキャナ制御装置によって使用することができ、これは、Y 軸の遷移を促進することができる。

【 0 1 6 0 】

追加のビームスキャナの実施形態

前述のように、ビームスキャナ 3 0 4 について追加の例示的な実施形態は、回転ポリゴンミラーと組み合わせられる M E M S ミラーを用いてもよい (図 1 1 A ~ G 参照)。このよう
10
のようなポリゴンミラーは、およそ 2 k H z ~ およそ 1 0 k H z の範囲の速度で回転することができる。しかしながら、他の値を使用することができる場合、これは、必要ではない。例えば、追加の例示的な実施形態において、N 辺回転ポリゴンミラーは、N が乗算されるその回動周波数が M E M S ミラーのための共振周波数よりも約 1 0 ~ 1 8 倍高速であるような速度で回転することができる。このように、M E M S ミラーが約 2 k H z のほぼ全帯域幅で動作し、回転ポリゴンミラーが 4 辺を有する場合、ポリゴンミラーのための回転速度は、約 2 . 5 k H z ~ 約 4 . 5 k H z の範囲であり得る。また、他の比率を使用してもよいことを理解すべきである。説明を容易にするために、回転ポリゴンのいくつかは、図 1 1 A ~ G において円として示される。このような配置の例は、このようなビームスキャナ 3 0 4 の上面図及び透視図の両方を含む、図 1 1 A によって示される。この例において
20
、単一のターゲティングレーザ源 3 0 0 が用いられる。M E M S ミラー 1 1 0 0 は、Y 軸の遅軸ミラーであり、一方、回転ポリゴンミラー 1 1 0 2 は、X 軸の速軸ミラーである。回転ポリゴンミラー 1 1 0 2 は、レーザ源 3 0 0 から入射レーザパルス (及びフィードバック制御を目的とするためのアライメントレーザ 6 5 0 からのアライメントレーザビーム - 図 6 C 参照) を受信するように位置付けられる。回転ポリゴンミラー 1 1 0 2 は、回動方向 1 1 0 4 によって示されるように回動し、受信されたレーザパルスを Y 軸 M E M S ミラー 1 1 0 0 に導き、次に、図 1 1 B によって示される走査エリアにおいて所望の位置にレーザパルスを反射する。

【 0 1 6 1 】

さらに、シングルスキャナのための図 1 1 A によって示される一般配置は、2 つのレーザ 3 0 0 を用いて、図 1 1 B によって示されるように、ダブルスキャナとして機能することもできる。図 1 1 B は、2 つの Y 軸 M E M S ミラー 1 1 0 0 及び単一の共有回転ポリゴンミラー 1 1 0 2 を用いるダブルスキャナの透視図及び上面図を示す。別個に位置付けられたレーザ 3 0 0 は、回転ポリゴンミラー 1 1 0 2 へレーザパルス 1 1 1 0 及び 1 1 1 2 を導くことができ、これにより 2 つのターゲティングされた出射 L A D A R パルスを作成するビームスキャナがもたらされる。

【 0 1 6 2 】

図 1 1 C は、トリプルスキャナ、クワッドスキャナ、及び N スキャナを含む、例示的な実施形態によって、この一般配置がどのように追加ターゲティングレーザをサポートすることができるかを示し、N は、異なる位置から回転ポリゴンにレーザを発する異なるレーザ 3 0 0 を位置付けるためのスペース有用性によって、効果的に制限される。例として、N は、後述するように施術者の要望及びニーズに応じて、4 ~ 1 6 (以上) の値に到達してもよい。

【 0 1 6 3 】

図 1 1 D は、回転ポリゴンミラー 1 1 0 2 として用いることができる異なるポリゴンの例であって、図 1 1 A によって示される六角形の例に加えて、正方形及び八角形を含む例を示す。さらに、N 辺ポリゴンは、ミラー 1 1 0 2 のために用いることができ、N は、Y 軸または 2 次ミラーのサイズ、視野角度、及びポリゴンの直径などのパラメータによって制約され、ごくわずかなものと呼ぶ。

【 0 1 6 4 】

10

20

30

40

50

図 1 1 E は、六角形の回転ポリゴンミラー及び 4 つの MEMS ミラーを用いるビームスキャナの上面図を示す。この例は、約 1 1 0 度の 4 つの走査フィールドをサポートする。しかしながら、約 2 0 ~ 1 8 0 度の最大 N の独立走査フィールドをサポートすることができる。5 k H z での 4 辺のミラー回転は、2 0 k H z の可能な行速度をサポートし得るが、Y 軸が行間にステップダウンするために時間が必要であるので、実際の行速度は、より低い値（約 1 0 k H z など）であり得ることを意味するのを理解すべきである。一般に、回転ポリゴンミラーのための辺の数を増加させることは、走査フィールドをより小さくすることを意味し、走査フィールドの数は、ポリゴン直径及び Y 軸サイズによってさらに規定されるが、Y 軸のサイズ及び速度は、ポリゴンの辺の数と走査フィールドの数及び走査フィールドのサイズとの関係にも左右する。さらにまた、走査フィールドは、図 1 1 F に

10

【 0 1 6 5 】

図 1 1 G は、例えば、車が地面及び水平線ならびに空の一部を見ることができるよう、垂直視野（F O V）を傾斜させる異なる方法を示す。これは、回転ポリゴンミラーに対して複数の走査フィールドが存在するときに問題になり得る。

【 0 1 6 6 】

図 1 2 A 及び B は、L A D A R パルスを送送するときにレーザ源によって用いられ得るレーザパルス符号化パターンの例を示す。これらの符号化パターンは、個々のレンジポイントでターゲティングされた L A D A R パルスに適用することができる強度変調方式のタイプである。このような符号化パターンの使用は、干渉を低減し、かつ/または動的レンジを増大させて、より良好な精度を得る助けをする。L A D A R パルスは、単純なノーコード単一パルスまたはパルスバーストから複雑な N コードパルスバースト、非対称振幅変調（A M）バーストまでのレンジであり得る。

20

【 0 1 6 7 】

例えば、パルス位置変調（P P M）の図 1 2 A の例。P P M のための例示的な L A D A R パルスは、約 0 . 1 ~ 約 1 0 n s のパルス幅を有することができ、パルス位置変調（P P M）は、パルス間に用いることができる。例として、パルスが約 1 ~ 1 0 n s 間隔である 3 ~ N パルスを使用することができる。これらの値は、単なる例であることを理解すべきである。P P M によって、複数のレンジ要件が空中に同時に存在することが可能になる。このように、走査 L A D A R 伝送システムによるほぼ連続での複数の変調パルスフィールドは、同時に空中にあり得、受信装置は、それらの変調パルスの反射光を復調することによって意味をもって解釈することができる。例として、走査 L A D A R 伝送システムは、L A D A R パルスを作成するための 2 つ（またはそれ以上）のレーザを用いることができ、これらの L A D A R パルスは、P P M によって互いに対してパルス変調される。レーザ 1 は、互いに干渉することなくその P P M パルスのレーザ 2 の発射と共に、ほぼ連続においてその P P M パルスを発射することができる。このような配置によって、走査 L A D A R 伝送システムがより低い効果的な最小パルス間時間を使用することが可能になり得るが、これは、レーザ 2 を発射しながらレーザ 1 を再充電することができるためである（その逆もまた同様である）。P P M は、複数の L A D A R システムのコロケーションからの干渉に対するバッファも提供する。このため、T r a n s m i t t e r 1（例えば、V e h i c l e 1 上に配備される）が、T r a n s m i t t e r 2（例えば、V e h i c l e 2 上に配備される）のほぼ近くにある場合、2 つの走査 L A D A R 伝送装置は、2 つの間に光学的な干渉がほとんど何もないように L A D A R パルスを発射することができる。P P M の使用は、信号対雑音比（S N R）も低下させることがある。図 1 2 A は、N パルスが使用される例示的な P P M の一般化を示す。第 1 のパルスは、常にそこにあり、第 1 のパルス後、N - 1 パルスの任意の組み合わせを位置付けすることができる。図 1 2 A は、P P M についていくつかの例示的な基本パターンも示す。

30

40

【 0 1 6 8 】

50

P P Mと同様の目的のために強度変調を使用することもできる。例えば、強度変調は、同時に複数の呼びかけ信号の伝送も可能にすることができ、これは、呼びかけ信号は、復調技術によつてのちに分離することができるためである。強度変調は、別の方法として、互いにほぼ近くにある複数のL A D A R伝送装置の使用から生じる場合がある光学的な干渉を低減または削除することもできる。さらに、強度変調は、走査L A D A R伝送システムの動的レンジを増大させることができ、それは、レンジ精度の改善をもたらす。

【 0 1 6 9 】

強度変調の例として、図 1 2 B は、短い非対称振幅変調 (A M) パルスバーストの基本パターンの例を示す。L A D A Rパルスは、異なる比率において異なる振幅を有することができる。短い非対称A Mパルスバーストは、動的レンジにおける増大を可能にする(すなわち、信号は、レンジ情報をより正確に検出することができるように、適正に検出される許容可能な強度レンジ内にとどまる)。A Mパルスバーストのための例示的なL A D A Rパルスは、約0.1~約10nsのパルス幅を有することができ、約2~約10パルスがバースト内に含まれ、パルスが約1~約10ns間隔である。前述のように、A Mを使用して、個々のパルスを区別することができる。これらの値は、単なる例であることを理解すべきである。さらに、A Mに加えて、P P Mを使用してもよいことを理解すべきである。

【 0 1 7 0 】

さらに、限定されないが、偏光変調、コヒーレント結合による位相変調、またはさらに異なる色を有する追加レーザの使用を含む、追加のまたは代替的な技術を用いて、干渉を低減し、潜在的な曖昧性を解決することができることを理解すべきである。各追加のまたは代替的な技術は、システムにおいて使用するためにそれ自身のトレードオフを提供し得る。例えば、異なる色の2つのレーザの使用は、ショットリストのためのより低いMin Pulse-to-Pulse Timeの使用を可能にする際の利点を提供することができる(一方のレーザを発射しながら、他方のレーザを再充電することができ、またはそれによって2つの同時に受信されたパルスが受信装置によって復調することが可能である場合)。

【 0 1 7 1 】

レンジポイントダウン選択のための追加の実施形態

本明細書において記載される動的レンジポイント選択技術を使用して、他の方法におけるL A D A R技術の改善を果たすこともできることを理解すべきである。

【 0 1 7 2 】

例えば、動的レンジポイント選択技術は、プレ走査ツールではなくポスト走査圧縮ツールとして使用することができる。すなわち、伝送されたL A D A Rパルスによってターゲットされるレンジポイントの数を限定するために、本明細書において記載される動的レンジポイント選択技術を使用するのではなく、動的レンジポイント選択技術は、大容量L A D A Rポイントクラウドに関する圧縮ツールとして使用することができる。

【 0 1 7 3 】

例えば、走査L A D A R伝送システムを用いて、レンジポイントのフル配列をショットすることができる(上で開示される実施形態に関連して記載される疎な配列とは対照的)。これは、大量のレンジポイントを有するポイントクラウドの生成をもたらす。その後、ポスト走査である図 2 C 及び 2 D に関連して記載されるものなどの動的レンジポイント選択技術は、どのレンジポイントが圧縮されたポイントクラウドのために保存されなければならないかを選ぶために実行することができる。このようなポスト走査圧縮は、レンジポイントのプレ走査ダウン選択によって呈されるフレームレートまたはパルスエネルギーにおける改善を享受しないが、圧縮されたポイントクラウドが独自の利益を提供することができることを理解すべきである。例えば、帯域幅感応チャネルにわたってポイントクラウドを通信する必要がある状況において、インテリジェントに圧縮されたポイントクラウドは、有利である。

【 0 1 7 4 】

ポイントクラウドのための圧縮ツールとして動的レンジポイント選択技術を使用することは、特に3Dポイントクラウドを圧縮するのに有用であり得、それは典型的に非常に大量のポイントを有する。例として、3Dポイントクラウドは、所望の2D透視図に平坦化することができ、2Dポイントは、本明細書において記載される技術を使用して、インテリジェントレンジポイントとしてそのサブセットを選択するために、分析することができる。その後、このポイントのサブセットは、圧縮されたポイントクラウドとして機能することができる。

【0175】

同様に、図2C及び2Dによって記載されるものなどの動的レンジポイント選択技術を使用して、フラッシュLADAR伝送システムから生じるポイントクラウドを圧縮することができ

10

【0176】

別の例として、走査LADAR伝送システムは、動的走査パターンを使用するのではなく、古典的なグリッド走査を使用してレンジポイントをターゲティングするために用いることができ、動的レンジポイント選択技術は、伝送装置がグリッドを通じて走査するので、レーザ源がLADARパルスを実際に発射するレンジポイントを選択するために、使用することができる。古典的なグリッド走査は、走査LADAR伝送システムが走査エリアにおける全てのポイントを訪問する固定走査である。しかしながら、ターゲティングされたレンジポイントの全てにおいてレーザ源を発射させるのではなく、図2C及び2Dによって記載されるものなどの動的レンジポイント選択技術は、LADAR伝送装置によって

20

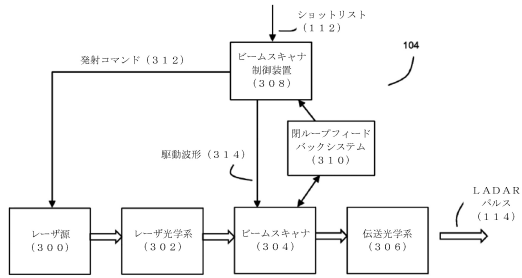
ショットされるレンジポイントを選択するために、使用することができる。このような固定走査は、本明細書において記載される動的走査実施形態に関するシステムのフレームレートまたはパルスエネルギーの点において、ほとんどまたは全く改善を提供しないが、レンジポイントのダウン選択は、伝送装置が可能なレンジポイントの全てでLADARパルスを発射することを回避することができるので、ある程度のデータ帯域幅の減少及び電力管理の利益を依然として提供する。

【0177】

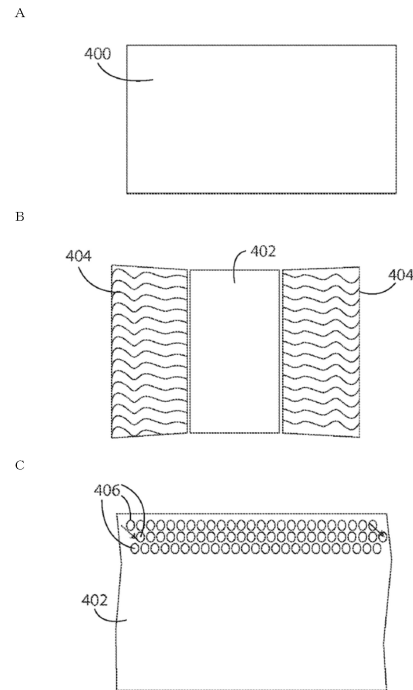
本発明は、その例示的な実施形態と関連して上述されるが、本発明の範囲内に依然として入る種々の修正をそれらに対して行うことができる。本発明に対するこのような修正は、本明細書における教示の概説によって認識可能である。

30

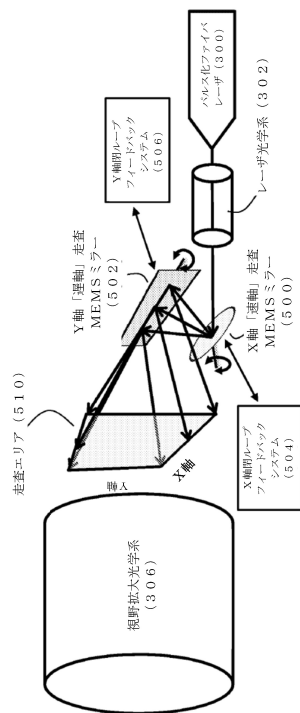
【図 3】



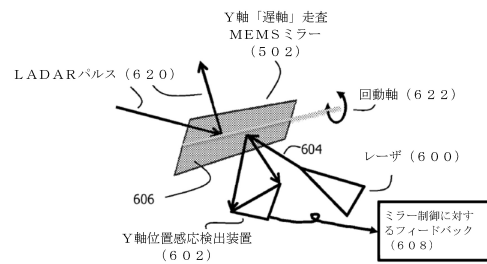
【図 4】



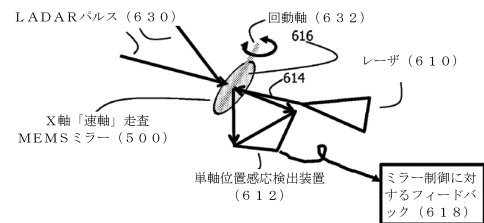
【図 5】



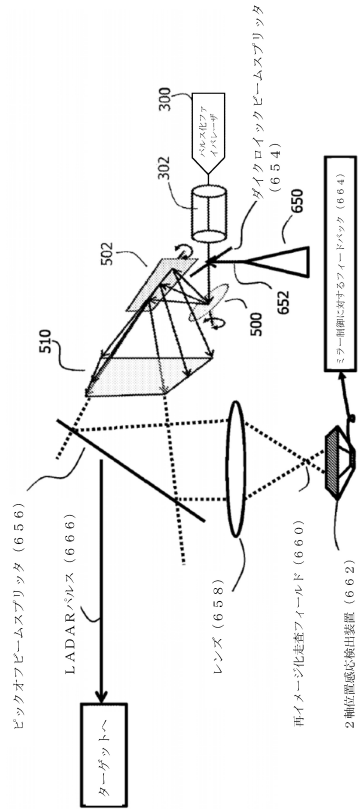
【図 6 A】



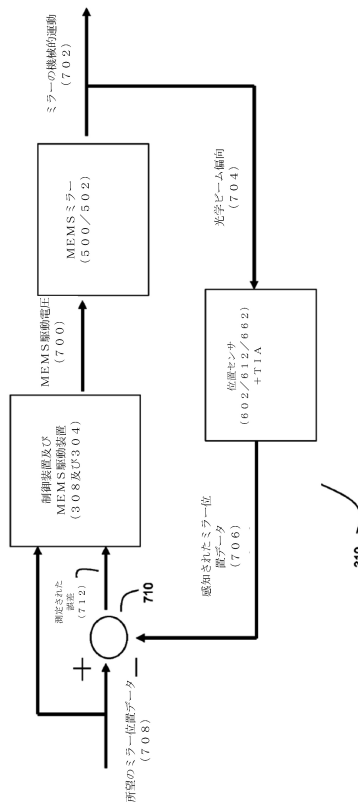
【図 6 B】



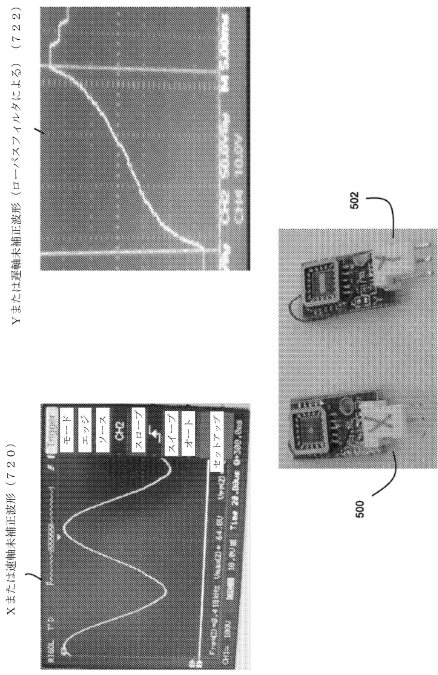
【図 6 C】



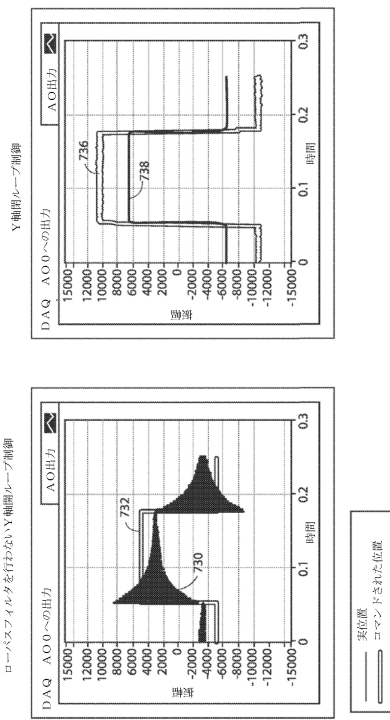
【図 7 A】



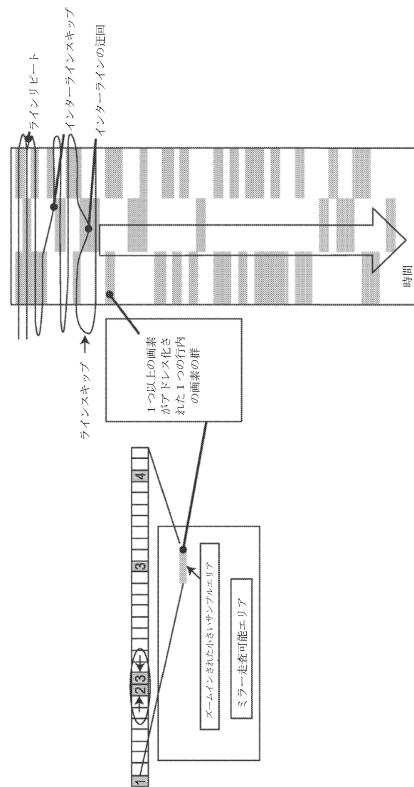
【図 7 B】



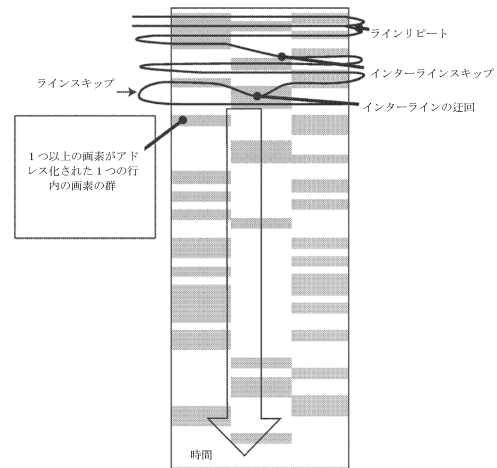
【図 7 C】



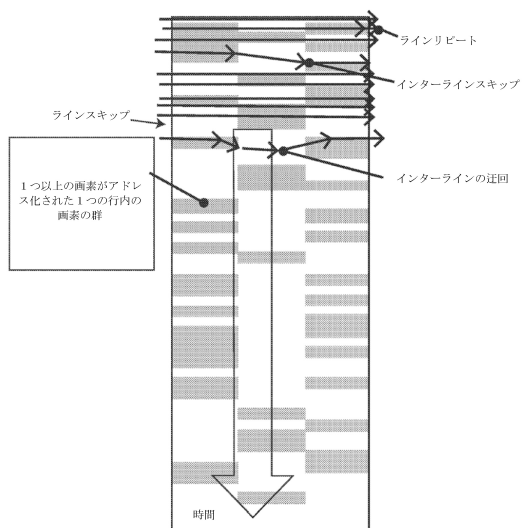
【図 8 A】



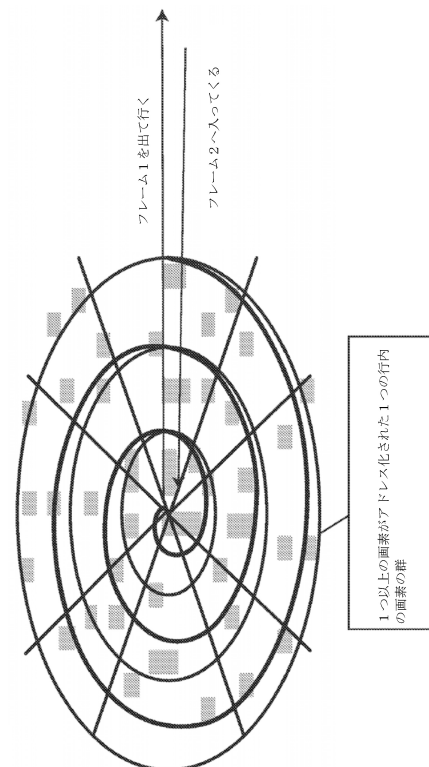
【図 8 B】



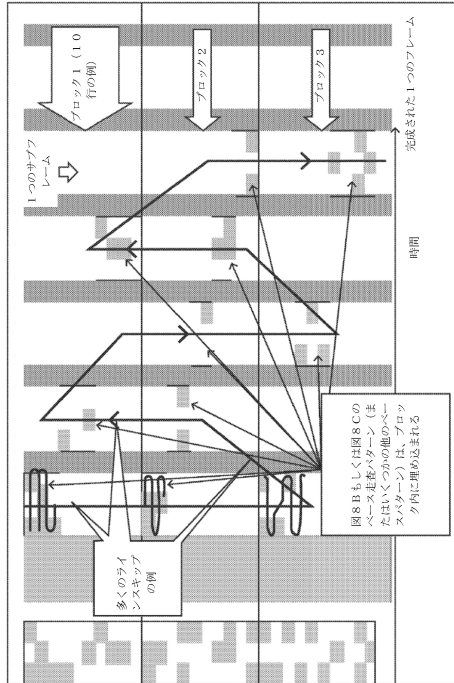
【図 8 C】



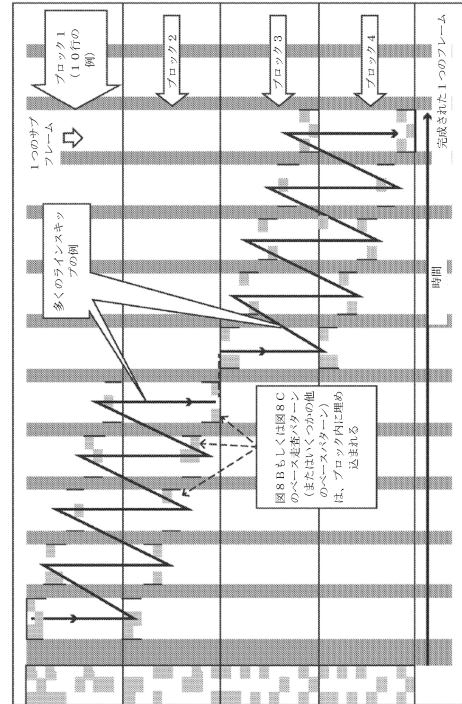
【図 8 D】



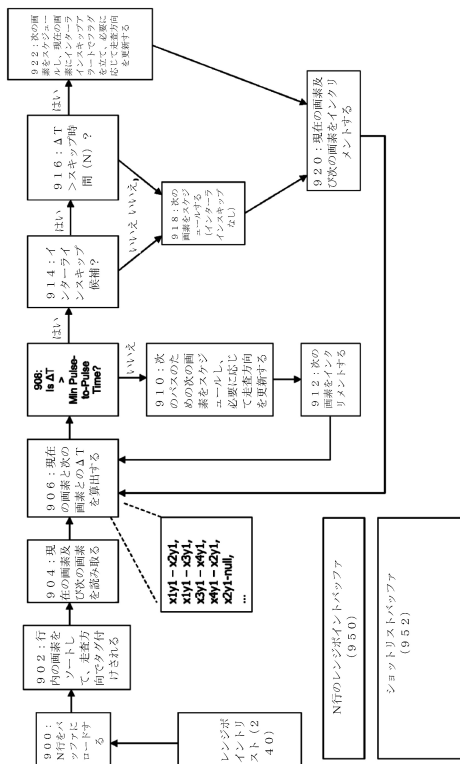
【図 8 E】



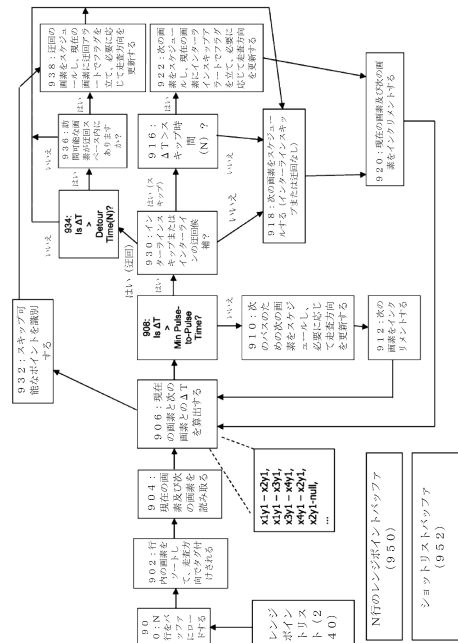
【図 8 F】



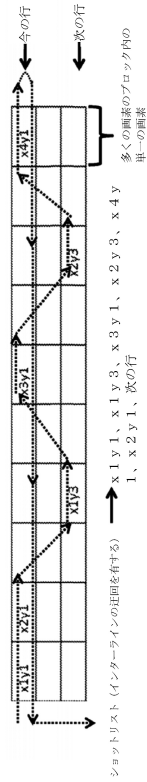
【図 9 A】



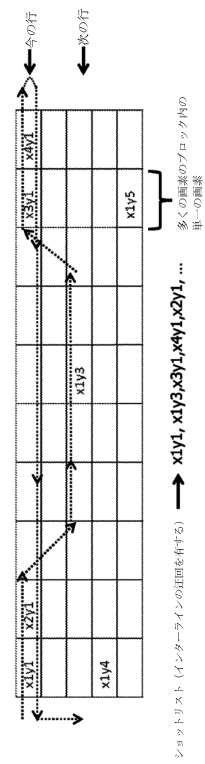
【図 9 B】



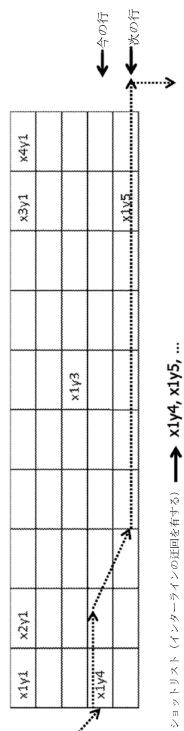
【 図 9 C 】



【 図 9 D 】



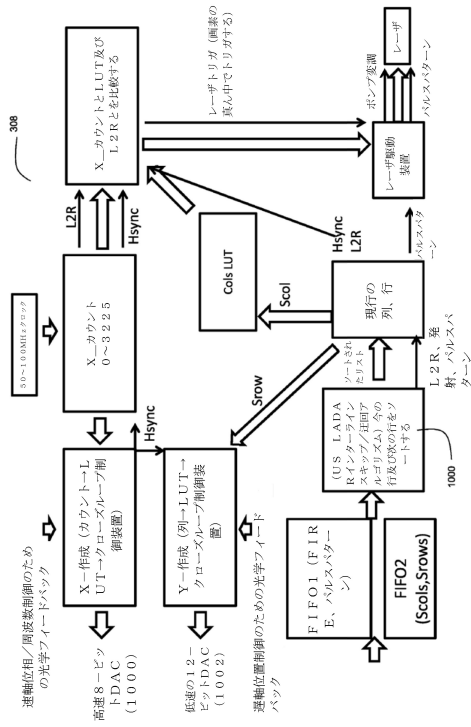
【 図 9 E 】



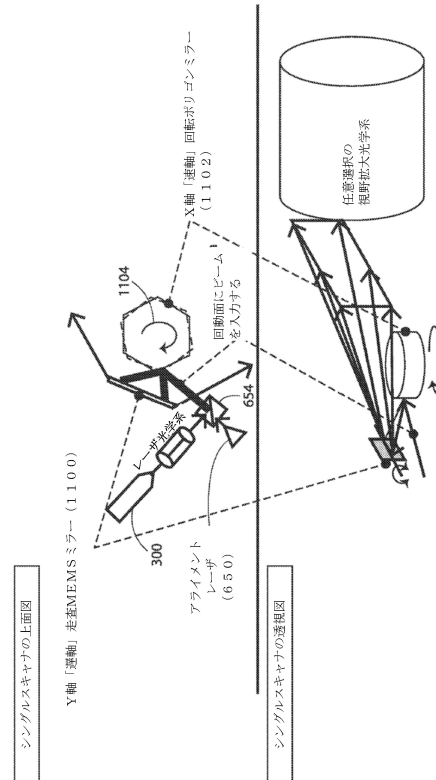
【 図 9 F 】

レンジポイントリスト		シヨットリスト			852 左から店または 右から左	954 実際の中間地点または 本当の燃料コマ ンドですか	956 いくつかの角度変調コ ードのうちの1つ	958 インターラインスキャ ンが直後に付られることを システムにアラートする インターラインスキャ ン
行	列	Spots	Spd	L2R				
104	19	104	19	1	1	1	1	0
104	26	104	26	0	1	1	1	0
105	4	105	4	1	1	1	1	0
105	13	105	13	1	1	1	1	0
105	22	105	31	1	1	1	1	0
105	31	105	49	0	1	1	1	0
105	40	105	40	0	1	1	1	0
105	49	105	22	0	1	1	1	0
110	15	110	15	1	1	1	1	—
110	159	111	95	1	1	1	1	1
111	95	110	159	1	1	1	1	1
111	223	111	223	1	1	1	1	1

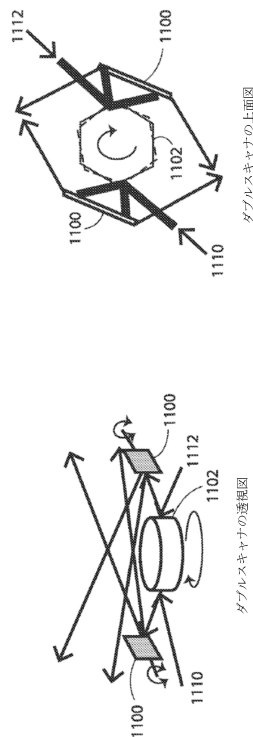
【図10】



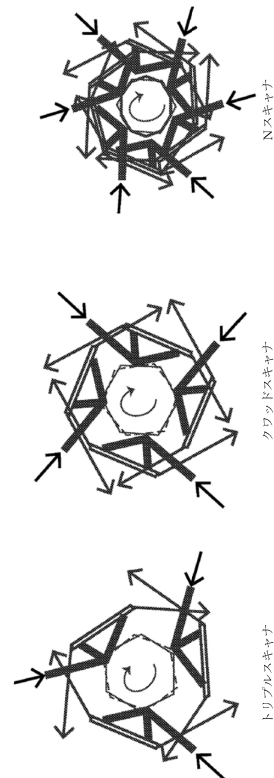
【図11A】



【図11B】



【図11C】

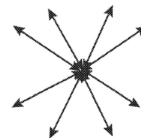


【図 1 1 D】

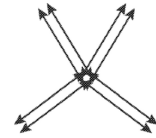


異なるポリゴンタイプ

【図 1 1 F】

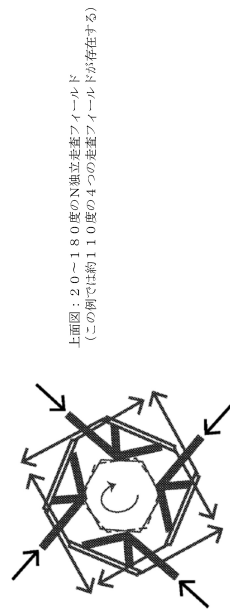


対称角度

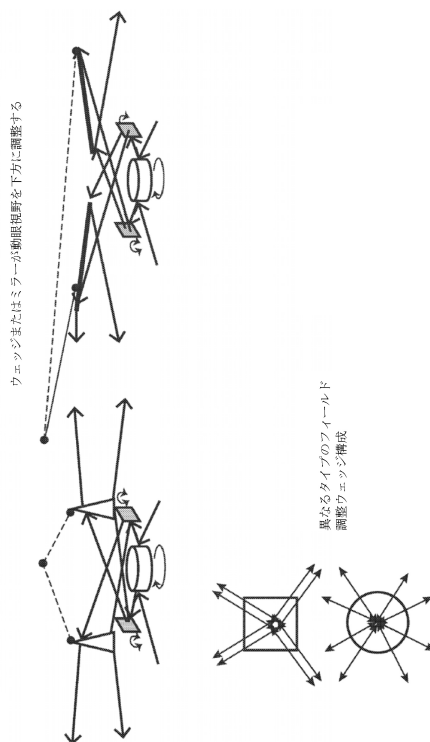


非対称角度の変種

【図 1 1 E】

上面図：20～180度のN独立走査フィールド
(この例では約110度の走査フィールドが存在する)

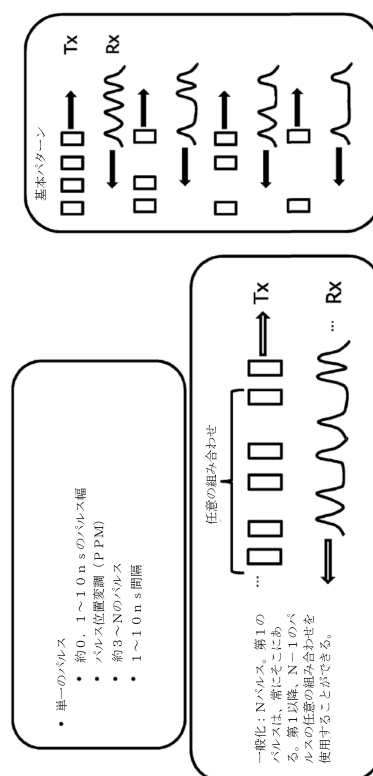
【図 1 1 G】



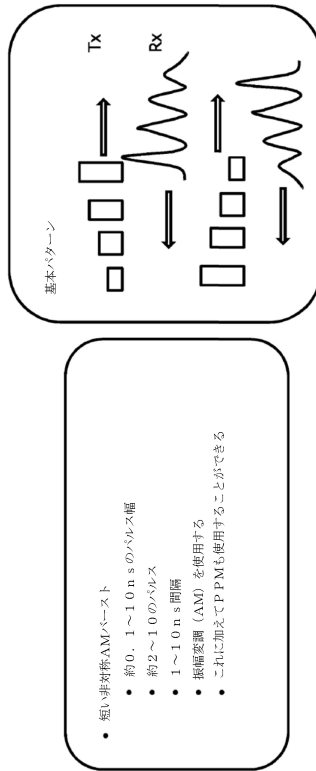
ウェッジまたはミラーが動眼視野を下方に調整する

異なるタイプのフィールド
調整ウェッジ構成

【図 1 2 A】



【図 12 B】



フロントページの続き

(74)代理人 100098501

弁理士 森田 拓

(74)代理人 100116403

弁理士 前川 純一

(74)代理人 100135633

弁理士 二宮 浩康

(74)代理人 100162880

弁理士 上島 類

(72)発明者 ルイス カルロス ダッサン

アメリカ合衆国 カリフォルニア ダブリン ハイゼル タイン レーン 5 3 3 9

審査官 蔵田 真彦

(56)参考文献 米国特許第05638164(US,A)

特表2000-509150(JP,A)

特開平11-153664(JP,A)

特開2006-329971(JP,A)

特表2010-527024(JP,A)

特開2013-156138(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/48-7/51、17/00-17/95