

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6514681号
(P6514681)

(45) 発行日 令和1年5月15日(2019.5.15)

(24) 登録日 平成31年4月19日(2019.4.19)

(51) Int.Cl.

G01B 11/245 (2006.01)

F 1

G01B 11/245

H

請求項の数 8 (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2016-502343 (P2016-502343)
 (86) (22) 出願日 平成26年3月14日 (2014.3.14)
 (65) 公表番号 特表2016-513804 (P2016-513804A)
 (43) 公表日 平成28年5月16日 (2016.5.16)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2014/027126
 (87) 國際公開番号 WO2014/152254
 (87) 國際公開日 平成26年9月25日 (2014.9.25)
 審査請求日 平成29年3月13日 (2017.3.13)
 (31) 優先権主張番号 61/792,468
 (32) 優先日 平成25年3月15日 (2013.3.15)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

前置審査

(73) 特許権者 513020939
 ウーバー テクノロジーズ, インコーポレ
 イテッド
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
 103 サンフランシスコ マーケット
 ストリート 1455
 (74) 代理人 100073184
 弁理士 柳田 征史
 (72) 発明者 オスターウッド, クリストファー チャー
 ルズ
 アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 15
 206 ピッツバーグ ヘースティングス
 ストリート 705

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ロボット用多重知覚ステレオ視のための方法、システム、および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

空洞と少なくとも1つの外面とを画定する筐体と、
 前記空洞内にあって、少なくとも1つの実装面を画定するユニタリフレームと、
 空洞内の内壁であって外面と熱的に連通する内壁と、
 第1の観点から環境の複数の画像を取得するために前記少なくとも1つの実装面へ取付けられる第1の撮像装置と、

前記少なくとも1つの実装面へ取付けられるとともに、前記第1の観点とは異なる第2の観点から前記環境の複数の画像を取得する第2の撮像装置と、

第1のプロセスユニットと第2のプロセスユニットとを備えるプロセスユニット部であつて、

前記第1のプロセスユニットは前記筐体内の第1の位置に配置され、前記第1の撮像装置及び前記第2の撮像装置によって取得された前記複数の画像に基づいて一つ又は二つ以上の視差マップを生成するように作動可能であり、

前記第2のプロセスユニットは、前記第1の撮像装置及び前記第2の撮像装置により取得された前記複数の画像と、前記第1のプロセスユニットによって生成された前記視差マップと、に基づいて前記環境についての情報を決定するように作動可能であり、

前記内壁および前記プロセスユニット部と熱的に連通する熱伝導性材料であつて、前記プロセスユニット部により発生された熱を放散するように前記内壁を介し前記少なくとも1つの外面へ前記プロセスユニット部により発生された前記熱を伝導する熱伝導性材料と

10

20

を備えることを特徴とする自立走行車両のためのステレオ視システム。

【請求項 2】

前記ユニタリフレームは単一材料片からなることを特徴とする請求項 1 に記載のステレオ視システム。

【請求項 3】

前記第 1 の撮像装置と前記第 2 の撮像装置とは同じ平面内に配置されることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のステレオ視システム。

【請求項 4】

前記第 1 の撮像装置は第 1 の平面内に配置され、および前記第 2 の撮像装置は前記第 1 の平面と平行な第 2 の平面内に配置されることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載のステレオ視システム。 10

【請求項 5】

前記第 1 の撮像装置は第 1 の平面内に配置され、および前記第 2 の撮像装置は前記第 1 の平面と交差する第 2 の平面内に配置されることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載のステレオ視システム。 20

【請求項 6】

前記第 1 の撮像装置および前記第 2 の撮像装置のうちの少なくとも 1 つを前記少なくとも 1 つの実装面へ固定する少なくとも 1 つのピンおよび少なくとも 1 つのボルトのうちの少なくとも 1 つをさらに含むことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載のステレオ視システム。 20

【請求項 7】

前記第 1 の撮像装置及び前記第 2 の撮像装置を前記第 1 のプロセスユニットへ結合するフレキシブルケーブルをさらに含むことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載のステレオ視システム。

【請求項 8】

前記第 2 のプロセスユニットは、前記第 1 の撮像装置及び前記第 2 の撮像装置によって取得された前記複数の画像と、前記一つ又は二つ以上の視差マップとに基づいて少なくとも一つの動く対象物の位置を決定するものであり、

前記環境内の前記少なくとも一つの動く対象物をレーザー光により照明するレーザー部と、前記少なくとも一つの動く対象物に散乱されたレーザー光及び / 又は前記少なくとも一つの動く対象物に反射されたレーザー光を検出し、検出された前記レーザー光に基づいて前記少なくとも一つの動く対象物への距離に対応する範囲信号指標を提示するセンサー部とをさらに備え、前記レーザー部及び前記センサー部は前記筐体の頂部に搭載していることを特徴とする請求項 1 に記載のステレオ視システム。 30

【発明の詳細な説明】

【関連出願の相互参照】

【0001】

本出願は、米国法典第 35 編第 119 条 (e) に基づき、2013 年 3 月 15 日出願の米国仮特許出願第 61/792,468 号明細書、名称 "Methods, Systems, and Apparatus for Multi-Sensor Stereo Vision for Robotics" からの優先権を主張し、その全体を参照により本明細書に援用する。 40

【技術分野】

【0002】

本発明は、ロボット用多重知覚ステレオ視のための方法、システム、および装置に関する。

【背景技術】

【0003】

3 次元 (3D) 感知は、多くの領域および環境において有用である。それは、ロボット、自立走行車両、および遠隔操作車両が木々、構造物、および落下物のような静的障害と 50

、人、動物、および車両のような動的障害とを回避しながら安全に航行して地形を横断できるようとする。3D感知はまた、ロボットの局所環境のマッピングとより大きな周辺領域のより大きなスケールのマッピングとを可能にする。産業環境では、ここに説明される3次元センサは、機械周囲に静的または適応的安全幕を生成し得、および/あるいは自動組立てまたは製造ラインを通過する部品を計数または検査し得る。

【0004】

高更新率ステレオデータは、相互作用する近接場障害物、標的、または対象を感知するために利用され得る。ヒューマノイドロボットの「頭」として取付けられれば、ステレオカメラは人間の眼が行うのと全く同じ役割を果たし得、すなわちステレオカメラはヒューマノイドが反応的把握、経路探索、工程計画、対象認識、対象追跡、および多くの他の形式の3D計算を可能にする前に領域のリアルタイム3D表現を構築し得る。

10

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の実施形態は、ロボット、ナビゲーション、機械視覚、製造、および他の用途に使用するのに好適なステレオ視(stereovision)センサ/レーザ距離測定センサの組合せを含む。いくつかのケースでは、これらのセンサは、ビデオ画像、ステレオ画像、およびレーザ距離測定から導出される画像を提供する走査レーザを有するステレオカメラを含む。これらのセンサは、センサがその周囲に対して移動するにつれ(または周囲が変化するにつれ)レーザ画像が世界地図に逐次的に「縫い合わせ」られ得る運動を計算するために使用され得る。加えて、ステレオカメラとレーザ距離計(laser rangefinder)は互いの距離データを「セルフチェック」するために使用され得る。これにより、センサがいくつかのタイプの故障を検出できるようにし、センサがいくつかの状況において自己較正できるようにする。

20

【0006】

2つのセンサはオフセット能力を有し得る。レーザ距離計は、長距離(例えば、約0.5m~約30m)にわたって高精度で動作し、かなり低いデータ速度(例えば、約43,000点/秒)を有し、すべてまたはほとんどすべての面をうまく感知し得るが、埃などの空気中浮遊物(airborne obscurants)を通して撮像する際にいくつかの問題を有し得る。ステレオカメラは高速であり(例えば、15,000,000点/秒を超える)、短い範囲(例えば、7.0cm基準線で約0.5m~約5.0m)にわたって動作し、空気中浮遊物を通して撮像する際にうまく機能し得るが、特徴の無い面までの距離を感知することができないことがあり得る。

30

【0007】

いくつかの実施形態では、レーザパルスは幾何学的および時間的に互いに同期されるとともに外部クロックと同期される。加えて、レーザパルスとカメラ画像は互いに精密に時間調節され得る。これにより、較正が補助される。また、センサが動いているときでもレーザデータを使用することにより正確な3Dモデルの構築を可能にする。カメラ画像からの運動推定は、レーザ距離計データ点の取得中のセンサ移動の補償を可能にする。

40

【0008】

センサの実施形態は、最大熱、機械的衝撃、振動、および湿度を含む環境的な厳しさに対し構築された単一ユニットに組込まれる部品を含み得る。具体的には、カメラ/レンズ設計は、熱変化および/または機械的衝撃に起因する較正からのドリフトに耐えるように構築され得る。同様に、センサデータを処理するために使用されるステレオアルゴリズムおよび制御は、空中の埃および他の微粒子だけでなく劣悪照明と悪天候状況の難しい環境における動作のために調節され得る。

【0009】

ロボット使用に適したものを含むいくつかの実装形態では、センサは慣性測定ユニット(IMU)を含み得るまたはそれに動作可能に結合され得る。このIMUへ結合されるプロセッサは、ナビゲーションなどに使用されるロボットへ姿勢解決策を提供するために姿

50

勢推定ソフトウェアを実行する。この姿勢解決策は、IMU、ステレオ（例えば、視認可能なオドメータ）、車輪エンコーダ、全地球測位衛星（GPS）受信器、および／またはレーザ距離計からのデータから導出され得る。

【0010】

いくつかの実施形態では、センサ内のまたはセンサへ結合されたプロセッサは、センサユニットがその較正の状態を迅速に評価できるようにする1つまたは複数の較正アルゴリズムを実行する。センサユニットが較正からずれていることを（例えば、自動的に）検出すれば、センサユニットは、「自己回復」として知られる処理において較正を「正す」ためにその較正パラメータを再調整し得る。センサユニットは、ユーザ介在を必要とすることなく自己回復をユーザに通知し得る。

10

【0011】

例示的センサユニットは標的無しに較正され得る（例えば、自動的に）。通常、カメラおよびレーザシステムは、場面内に（例えば、三脚上に）立てられた特定標的により較正される。例えば、このシステムは、場面内の機会の1つまたは複数の「好適な」標的を検出し、ステレオカメラおよびレーザ距離計の両方を自動的に較正し得る。

【0012】

本発明の実施形態は、環境内の1つまたは複数の対象の位置（システム自身の位置を含む）を推定するためのシステムおよび方法を含む。一例では、システムは第1の撮像装置、第2の撮像装置、第1および第2の撮像装置に動作可能に接続されたプロセッサを含む。動作中、第1の撮像装置は第1の観点から環境の少なくとも2つの基準画像を取得し、第2の撮像装置は第2の観点から環境の少なくとも2つの比較画像を取得する。プロセッサは少なくとも2つの基準画像内の第1の基準画像と少なくとも2つの比較画像内の第1の比較画像とから環境の第1の視差マップを合成する。プロセッサはまた、少なくとも2つの基準画像内の第2の基準画像と少なくとも2つの比較画像内の第2の比較画像とから環境の第2の視差マップを合成する。プロセッサは、第1の視差マップに少なくとも部分的に基づき対象の位置の第1の位置推定値を判断し、および第2の視差マップに少なくとも部分的に基づき対象の位置の第2の位置推定値を判断する。

20

【0013】

いくつかのケースでは、プロセッサは第1の位置推定値と第2の位置推定値との差を推定し得る。プロセッサはまた、第1の位置推定値と第2の位置推定値との差を補正し得る。例えば、システムは、レーザ光により対象を照射するレーザと、対象により散乱および／または反射されたレーザ光を検出し、検出レーザ光に基づき対象までの距離を表す距離信号を提供するセンサとを含み得る。プロセッサは、距離信号と、第1の位置推定値、第2の位置推定値、または第1および第2の位置推定値の両方とを比較することにより、第1の位置推定値と第2の位置推定値との差を判断し得る。

30

【0014】

本発明の他のいくつかの実施形態は、環境内の1つまたは複数の特徴を撮像するためのシステムおよび方法を含む。例示的なシステムは、第1の撮像装置と、第2の撮像装置と、第1および第2の撮像装置とに動作可能に接続されたプロセッサとを含む。動作中、第1の撮像装置は第1の観点から環境の少なくとも2つの基準画像を取得し、第2の撮像装置は第2の観点から環境の少なくとも2つの比較画像を取得する。プロセッサは、少なくとも2つの基準画像内の第1の基準画像と少なくとも2つの比較画像内の第1の比較画像とから環境の第1の視差マップを合成する。プロセッサはまた、少なくとも2つの基準画像内の第2の基準画像と少なくとも2つの比較画像内の第2の比較画像とから環境の第2の視差マップを合成する。プロセッサは、第1の視差マップおよび第2の視差マップ内の特徴を特定し、第1の視差マップと第2の視差マップとの間の特徴の外観の差を推定し得る。

40

【0015】

本発明の実施形態はまた、レーザ光の走査ビームの位置ずれを検出するためのシステムおよび方法を含む。例示的なシステムは、レーザと、レーザと光学的に連通したおよび／

50

または機械的に関連付けられたスキャナと、センサと、センサへ動作可能に接続されたプロセッサとを含む。動作中、レーザはレーザビームを供給し、スキャナはレーザ光の走査ビームを供給するようにレーザビームを走査する。センサは、環境内の少なくとも1つの対象により散乱および/または反射されたレーザ光を検出し、検出レーザ光の第1の測定を表す第1の信号と検出レーザ光の第2の測定を表す第2の信号とを提供する。プロセッサは、第1の信号に基づき環境の第1の表現を生成し、第2の信号に基づき環境の第2の表現を生成する。プロセッサは、第1の表現と第2の表現との少なくとも1つの差を推定し、および第1の表現と第2の表現との差に基づき、レーザ、スキャナ、および/またはセンサの位置ずれを判断する。いくつかのケースでは、プロセッサは、位置ずれを判断する際に第1の測定と第2の測定との間のレーザ、スキャナ、および/またはセンサの運動を考慮する。

【0016】

いくつかの例では、センサはステレオ画像センサを含み、かつプロセッサは第1の表現および/または第2の表現に基づきステレオ画像センサを較正するように構成される。これらの例では、プロセッサは、第1の表現に少なくとも部分的にに基づきレーザ、スキャナ、および/またはステレオ画像センサの第1の3次元位置を推定し得る。プロセッサはまた、レーザ、スキャナ、および/またはステレオ画像センサの第2の3次元位置推定値を判断するとともに第1の3次元位置推定値と第2の3次元位置推定値に基づき差を推定し得る。

【0017】

本発明の別の実施形態は、ステレオ撮像装置と距離計とを含む多重知覚(multi-sensory)ステレオ視システムを較正する方法を含む。一例では、本方法は、好適なプロセッサまたは他のコンピュータ装置を使用して、ステレオ撮像装置により提供される視差マップから視差マップ内に現われる対象の第1の3次元位置推定値を判断する工程を含む。プロセッサはまた、距離計による測定から対象の第2の3次元位置推定値を判断する。プロセッサは、例えば視差マップにより画定されたボリューム上へ第2の3次元位置推定値の座標を投影するとともに第2の3次元位置推定値の座標と第1の3次元位置推定値の座標との間の距離を判断することにより、第1の3次元位置推定値と第2の3次元位置推定値との差を判断する。プロセッサは、第1の3次元位置推定値と第2の3次元位置推定値との差に基づき多重知覚ステレオ視システムを較正する。

【0018】

いくつかのケースでは、プロセッサは、ステレオ撮像装置により第1の観点から観察された場面の第1の2次元画像とステレオ撮像装置により第2の観点から観察された場面の第2の2次元画像とを取得して第1の3次元位置推定値を判断する。プロセッサは、第1の2次元画像と第2の2次元画像とから視差マップを合成する。

【0019】

距離計のいくつかの実施形態はレーザ距離計を含む。これらの実施形態では、第2の3次元位置推定値を判断する工程は、レーザ光により対象を照射し、対象により散乱および/または反射されたレーザ光を検出し、検出レーザ光に少なくとも部分的にに基づき第2の3次元位置を判断する工程を含む。

【0020】

本発明のさらに別の実施形態は、画像データに基づき環境の視差マップを生成する処理ユニットを含む。例示的処理ユニットは、少なくとも2つの撮像装置から画像データを受信する少なくとも1つのインターフェースと、画像データを整流(rectify)するために少なくとも1つのインターフェースへ動作可能に接続された少なくとも1つの整流(rectification)処理ブロックと、画像データに基づき視差マップを生成するために少なくとも1つの整流処理ブロックへ動作可能に接続された少なくとも1つのステレオ処理ブロックとを含む。いくつかのケースでは、整流処理ブロックおよび/またはステレオ処理ブロックはフィールドプログラマブルゲートアレイ内に実現される。

【0021】

10

20

30

40

50

例えば、インターフェースは第1のインターフェースと第2のインターフェースを含み得る。動作中、第1のインターフェースは画像データの第1の部分の第1の直列表現を画像データの第1の部分の第1の並列表現に変換する。第2のインターフェースは画像データの第2の部分の第2の直列表現を画像データの第2の部分の第2の並列表現に変換する。

【0022】

ステレオ処理ブロックは、準グローバルブロック照合 (SGBM) アルゴリズム、準グローバル照合 (SGM) アルゴリズム、および / またはステレオブロック照合アルゴリズムに従って視差マップを生成し得る。いくつかのケースでは、ステレオ処理ブロックは視差ボリューム (disparity volume) の動的再構成可能部分を探索する。
1つのステレオ処理ブロックは、異なる分解能で画像データを処理するために動的に再構成され得る。処理ユニットはまた、少なくとも2つの撮像装置が画像データを取得するフレームレートを動的に変更し得る。

10

【0023】

いくつかの実施形態では、整流ブロックは少なくとも1つのメモリツーメモリ (memory-to-memory) ブロックを含む。このメモリツーメモリブロックは、フロントエンド、フロントエンドへ動作可能に接続された遅延線路、および遅延線路へ動作可能に接続されたバックエンドを含み得る。動作中、フロントエンドはメモリから画像データを取り出す。遅延線路は、メモリの遅延以上の期間の間少なくとも1つの画像処理コマンドを記憶する。バックエンドは、メモリから取り出された画像データに少なくとも部分的に基づき整流出力 (rectified output) を生成する。

20

【0024】

いくつかの処理ユニットはまた、画像データの並列表現を前処理するためにインターフェースへ動作可能に接続された少なくとも1つの前処理ブロックを含み得る。例えば、前処理ブロックは、データの並列表現のフィルタ処理、ヒストグラム生成、線形化、ビネット (vignette) 補正、モザイク解除、ホワイトバランス、および / または色空間変換を行い得る。

【0025】

本発明のさらに別の実施形態はレーザ走査システムおよび方法を含む。例示的レーザ走査システムは、レーザ、レーザへ機械的に結合されたスピンドル、スピンドルへトルクを印加するギヤ、およびギヤとスピンドルとの間に圧縮された滑りクラッチ摩擦パッドを含む。動作中、レーザはレーザビームを生成する。スピンドルは、レーザビームを走査するように第1軸を中心としてレーザを回転させる。ギヤはトルクをスピンドルへ印加する。滑りクラッチ摩擦パッドは、ギヤにより印加されたトルクの少なくとも一部を最大閾値トルクまでスピンドルへ伝達するとともに、ギヤが閾値トルクを超えるトルクでスピンドルに対して滑ることができるようになる。いくつかのケースでは、閾値トルクは、温度とスピンドルに印可される力とに応じて一定のままである。

30

【0026】

レーザ走査システムはまた、スピンドル、ギヤ、および滑りクラッチ摩擦パッドの少なくとも一部を含む筐体を含み得る。加えて、レーザ走査システムはまた、筐体に対するスピンドルの位置を測定するためにスピンドルへ機械的に結合されたエンコーダを含み得る。いくつかのケースでは、ギヤは、ワームギヤを駆動するとともにモータへ結合されたワームと噛み合うワームギヤであり、モータはワームギヤを駆動するようにワームを回転させる。レーザ走査システムはまた、モータの軸方向および半径方向運動を許容するためにモータへ機械的に結合されたコンプライアントモータマウントを含み得る。レーザ走査システムは、スピンドルへ機械的に結合されるとともにレーザと電気的に連通する滑りリングと、レーザに給電するために滑りリングを介しレーザと電気的に連通した電源とを含み得る。

40

【0027】

本発明のさらに別の実施形態はステレオ視システムおよび方法を含む。例示的ステレオ

50

視システムは、少なくとも 1 つの実装面を画定するとともに单一材料片で構成され得るユニタリフレームと、実装面へ取付けられる第 1 の撮像装置と、実装面へ取付けられる第 2 の撮像装置とを含む。ステレオ視システムはまた、第 1 の撮像装置と第 2 の撮像装置とへ動作可能に接続されたプロセッサと第 2 の撮像装置をプロセッサへ結合する可撓ケーブルとを含み得る。第 1 および第 2 の撮像装置は同じ平面、平行面、または交差平面内に配置され得る。第 1 および第 2 の撮像装置は、1 または複数のボルトおよびピンを使用して実装面へ固定され得る。

【 0 0 2 8 】

動作中、第 1 の撮像装置は第 1 の観点から環境の第 1 の画像を取得し、第 2 の撮像装置は第 1 の観点と異なる第 2 の観点から環境の第 2 の画像を取得する。プロセッサは第 1 の画像と第 2 の画像とからステレオ画像データを生成する。 10

【 0 0 2 9 】

本発明のさらに別の実施形態はセンサシステムおよび方法を含む。一例では、センサシステムは、少なくとも 1 つのセンサと、空洞と少なくとも 1 つの外面とを画定する筐体と、空洞内の内壁であって外面と熱的に連通する内壁と、空洞内に配置されるとともに少なくとも 1 つのセンサへ動作可能に接続されたプロセッサと、内壁およびプロセッサに熱的に連通する熱伝導性材料とを含む。センサはプロセッサが処理するセンサデータを提供する。熱伝導性材料は、プロセッサにより発生された熱を放散するように内壁を介しプロセッサにより発生された熱を外面へ伝導する。 20

【 0 0 3 0 】

センサはまた、空洞内に配置され得、その両方が例えればピンおよび／またはボルトを使用して実装面へ取付けられる第 1 の撮像装置と第 2 の撮像装置とを含み得る。第 1 の撮像装置は第 1 の観点から環境の第 1 の画像を取得し、第 2 の撮像装置は第 1 の観点とは異なる第 2 の観点から環境の第 2 の画像を取得する。 20

【 0 0 3 1 】

別の実施形態では、センサシステムは、センサ、筐体、プロセッサを含む。筐体は、空洞を画定し、少なくとも 1 つの外面を画定する少なくとも 1 つの壁を含む。プロセッサは、壁に当接する空洞内に配置され、センサへ動作可能に接続される。動作中、プロセッサは熱を発生し、熱は壁を介し外面へ熱伝導によって放散される。 30

【 0 0 3 2 】

本発明の実施形態はステレオ視システムおよび方法を含む。一例では、ステレオ視システムは、筐体、筐体内に配置された第 1 のセンサアレイ、筐体内に配置された第 2 のセンサアレイ、筐体内に配置された光源を含む。動作中、第 1 のセンサアレイは、筐体内の第 1 の開口を介し第 1 の観点から環境の第 1 の画像を取得し、第 2 のセンサアレイは、筐体内の第 2 の開口を介し第 1 の観点とは異なる第 2 の観点から環境の第 2 の画像を取得する。光源は、筐体内の第 3 の開口を介し筐体の外の環境を照射する。いくつかの例では、ステレオ視システムはまた、第 1 の開口内に配置されるとともに第 1 のセンサアレイと光学的に連通し、環境の第 1 の部分を第 1 のセンサアレイ上へ撮像する第 1 のレンズと、第 2 の開口内に配置されるとともに第 2 のセンサアレイと光学的に連通し、環境の第 2 の部分を第 2 のセンサアレイ上へ撮像する第 2 のレンズとを含む。 40

【 0 0 3 3 】

先の概念と以下にさらに詳細に論述される追加概念とのすべての組合せ（このような概念は互いに矛盾しないという前提で）は本明細書において開示される本発明の主題の一部であるように企図されることを理解すべきである。特に、本開示の終わりに記載される、特許請求される主題のすべての組合せは本明細書において開示される本発明の主題の一部であるように企図される。参照により援用される任意の開示内にも記載され得る本明細書において明示的に採用される用語には本明細書に開示される特定概念に最も一致する意味を与えられるべきであることも理解すべきである。

【 0 0 3 4 】

本特許または出願ファイルは、色彩を付して作成された少なくとも 1 つの図面を含む。 50

彩色図面が付された本特許または特許出願公開の写しは、請求および所要の手数料の納付により特許商標庁によって提供される。

【0035】

当業者は、添付図面が主として例示目的のものであってここで説明する本発明の主題の範囲を限定するように意図されていないことを理解する。添付図面は必ずしも原寸に比例しない。場合によっては、本明細書で開示される本発明の主題の様々な態様は、様々な特徴の理解を容易にするために添付図面に誇張または拡大されて示されることがある。添付図面では、同様の参照符号は通常、同様の特徴（例えば、機能的に同様、および／または構造的に同様の要素）を指す。

【図面の簡単な説明】

10

【0036】

【図1A】本発明の実施形態による、フレームに取付けられたステレオ視センサとレーザ走査装置に取付けられたレーザ距離計とを備えた多重知覚ステレオ視システムを示す。

【図1B】本発明の実施形態による図1Aに示す多重知覚ステレオ視システムのブロック図である。

【図2A】本発明の実施形態による多重知覚ステレオ視システムのステレオセンサヘッドの斜視図であり、ステレオセンサヘッドとレーザ距離計および／または他の部品とを位置合わせするドエルピンを示す。

【図2B】本発明の実施形態によるレーザアセンブリの位置合わせドエルピンまたは他のアタッチメントを含まないステレオセンサヘッドの斜視図である。

20

【図2C】本発明の実施形態によるレーザアセンブリの位置合わせドエルピンまたは他のアタッチメントを含まないステレオセンサヘッドの斜視図である。

【図3A】本発明の実施形態による、ユニタリフレームと、光源およびステレオカメラ用の別々の開口およびレンズと、内部熱伝導壁と、エレクトロニクスから熱を吐き出す熱伝導性パッドとを有するステレオセンサヘッドの断面図である。

【図3B】本発明の実施形態による、ユニタリフレームと、光源およびステレオカメラ用の別々の開口およびレンズと、内部熱伝導壁と、エレクトロニクスから熱を吐き出す熱伝導性パッドとを有するステレオセンサヘッドの断面図である。

【図3C】本発明の実施形態による、ユニタリフレームと、光源およびステレオカメラ用の別々の開口およびレンズと、内部熱伝導壁と、エレクトロニクスから熱を吐き出す熱伝導性パッドとを有するステレオセンサヘッドの断面図である。

30

【図3D】本発明の実施形態による、ユニタリフレームと、光源およびステレオカメラ用の別々の開口およびレンズと、内部熱伝導壁と、エレクトロニクスから熱を吐き出す熱伝導性パッドとを有するステレオセンサヘッドの断面図である。

【図4A】本発明の実施形態によるステレオセンサヘッド内部の光学部品列およびセンサアセンブリの断面図である。

【図4B】本発明の実施形態によるステレオセンサヘッド内部の光学部品列およびセンサアセンブリの断面図である。

【図5A】本発明の実施形態によるステレオセンサヘッドに使用される電子アセンブリへ嵌合された光学アセンブリの斜視図である。

40

【図5B】本発明の実施形態によるステレオセンサヘッドに使用される電子アセンブリへ嵌合された光学アセンブリの斜視図である。

【図5C】本発明の実施形態によるステレオセンサヘッドに使用される電子アセンブリへ嵌合された光学アセンブリの斜視図である。

【図5D】本発明の実施形態によるステレオセンサヘッドに使用される電子アセンブリへ嵌合された光学アセンブリの斜視図である。

【図6A】本発明の実施形態によるステレオセンサヘッドに使用されるエレクトロニクスアセンブリの平面図である。

【図6B】本発明の実施形態によるステレオセンサヘッドに使用されるエレクトロニクスアセンブリの立面図である。

50

【図7A】本発明の実施形態による多重知覚ステレオ視システムに使用するのに好適な別のステレオセンサヘッドの斜視図である。

【図7B】本発明の実施形態による多重知覚ステレオ視システムに使用するのに好適な別のステレオセンサヘッドの断面図である。

【図8A】本発明の実施形態によるレーザ走査装置および駆動系の図である。

【図8B】本発明の実施形態によるレーザ走査装置および駆動系の図である。

【図8C】本発明の実施形態によるレーザ走査装置および駆動系の図である。

【図8D】本発明の実施形態によるレーザ走査装置および駆動系の図である。

【図9A】本発明の実施形態によるグローバルまたは準グローバルプロック照合アルゴリズムを使用してステレオデータを処理するように構成されたプロセッサ（例えば、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA））を示す。
10

【図9B】本発明の実施形態によるグローバルまたは準グローバルプロック照合アルゴリズムを使用してステレオデータを処理するように構成されたプロセッサ（例えば、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA））を示す。

【図9C】本発明の実施形態によるグローバルまたは準グローバルプロック照合アルゴリズムを使用してステレオデータを処理するように構成されたプロセッサ（例えば、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA））を示す。

【図10】ステレオセンサ較正のための処理を示すフローチャートである。

【図11】レーザセンサ（ライダ（LIDAR））較正のための処理を示すフローチャートである。
20

【図12】レーザのステレオセンサ較正のための処理を示すフローチャートである。

【図13A】ステレオ撮像システム内の左カメラにより取得された第1の画像を示す。

【図13B】ステレオ撮像システム内の右カメラにより取得された第1の画像を示す。

【図13C】ステレオ撮像システム内の左カメラにより取得された第2の画像を示す。

【図13D】ステレオ撮像システム内の右カメラにより取得された第2の画像を示す。

【図14A】図13Aおよび13Bに示す画像に基づく視差マップを示す。

【図14B】図13Cおよび13Dに示す画像に基づく視差マップを示す。

【図15】左右画像（上の左と右それぞれ）からの入力イメージ情報（下の左と右それぞれ）を有する視差マップとその情報を有しない視差マップとの合成を示す。
30

【図16A】図14Aの視差画像上に重ねられた画像データを示す。

【図16B】図14Bの視差画像上に重ねられた画像データを示す。

【図17A】図14Aに示す視差データの3D投影を示す。

【図17B】図14Bに示す視差データの3D投影を示す。

【図18】図18A-Bは、センサを煙で掩蔽した場合のレーザポイントクラウドデータおよびステレオ画像データから合成された画像と、センサを煙で掩蔽しない場合のレーザポイントクラウドデータおよびステレオ画像データから合成された画像とをそれぞれ示す。
40

【発明を実施するための形態】

【0037】

今まで、3Dステレオシステムと3Dライダシステムは、多くの用途には余りに大きく、余りに重く、余りにも大きな電力を消費してきた。本発明の実施形態は、多くの方法でこれらの課題に対処する。いくつかの例では、その結果として、センササイズ、重量、消費電力に関する制限を有する小さなロボット、車両、ヒューマノイド、および他の環境に採用されるのに十分小さく、十分に軽く、かつ十分に低電力の3Dセンサを提供する。従来のセンサと比較して、例示的3D感知システムは、ほぼ一桁小さくかつほぼ10倍少ない電力を消費するパッケージ内に同様のまたは拡張された感知能力を提供する。いくつかの実施形態では、消費電力と寸法の低減は、埋込み型FPGA、一体化実装および構造フレーム、小型かつ効率的熱設計、小型かつ低電力かつ自己保護型駆動系の使用により実現される。

【0038】

10

20

30

40

50

本発明のセンサの例は、ライダデータとステレオデータとを大領域マッピングにおいて特に有用な単一データストリームに融合する。ライダデータは、正確である傾向があるが、環境内のレーザの位置の連続的姿勢推定無しにそのデータ同士を縫合するのに十分に密でないことが時にある。ステレオデータは、十分に密な傾向があり、視認可能オドメータまたは3D特徴照合および追跡のいずれかによって連続的姿勢推測値を提供するのに十分なフレームレートを有する。加えて、ステレオデータはライダデータを検査および補正するために使用される、またその逆の場合も同じであり、スタンドアロン装置として存在し得るより幾何学的に正確で、安定で、かつ頑強なシステムをもたらし得る。

【0039】

多重知覚ステレオ視システム

10

図1Aおよび1Bは、小型かつ軽量なレーザ走査機構300を介しライダへ機械的に結合されたステレオセンサヘッド200を含む例示的多重知覚ステレオ視システム100を示す。システム100はまた、可視光および/または赤外線（IR）発光ダイオード（LED）400を含む。図1Aに示すように、ステレオセンサヘッド200は、窓202aおよび202b（集合的に窓202）それぞれの後に取付けられたカメラ210aおよび210b（集合的にカメラ210）を含む。ステレオセンサヘッド200はまた、それらがそれぞれの窓に取付けられた一対の垂直方向に取付けられたLED400を含む。

【0040】

図1Bは、図1Aに示すステレオ視システム100のブロック図である。カメラ210に加えて、ステレオ視システム100はまた、LEDドライバモジュール410と、好適なバスを直接介し互いに動作可能に接続されるとともにコネクタ102または他の好適なバスを介し1つまたは複数の外部部品へ動作可能に接続される処理モジュール500とを含む。LEDドライバモジュール410は、主基板500へ電力をまとめて供給するヒューズおよびフィルタ412と12VのDC/DC変換器414とを含む。複数のLEDドライバ402は、それぞれのLED400を駆動するためにヒューズ付きフィルタリング済み電力を引き出す。処理モジュール500は、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）として図1Bに示すプロセッサ510、メモリ（図示せず）、データ接続512、補助入力および出力514、慣性測定ユニット（IMU）部品516、電力監視装置518を含む。当業者により容易に理解されるように、処理モジュール500はまた、FPGAの代わりにまたはそれに加えて特定用途向け集積回路（ASIC）などの他の部品を含む。

20

【0041】

図1Bはまた、各カメラ210が、CMOSIS CMV2000/4000センサなどのそれぞれの撮像装置212aおよび212b（集合的に撮像装置212）と、それぞれの撮像装置プリント回路基板（PCB）214aおよび214b（集合的に撮像装置PCB214）と、それぞれの窓216aおよび216b（集合的に窓216）とを含むことを示す。カメラ210は、図1Bに示すようなそれぞれのトリガおよび信号線を介し処理ユニット500内のプロセッサ510へ動作可能に接続される。

30

【0042】

ステレオカメラアセンブリ

40

プリント回路基板（PCB）とセンサおよび光学素子とのピン止めおよび重ね合わせ（一体型光学フレーム/サブアセンブリ）

ステレオシステムを製作することの難しい一面は、較正モデルの精度を長期にわたって保証することである。レンズまたは撮像装置のいかなるずれも光学的歪みまたはずれを引き起こし得、較正モデルは最早そのユニットの特性に一致しない。これは、左右像の特徴を照合する際の困難と、結果として得られる視差マップの精度と完全性の損失とをもたらす。

【0043】

伝統的に、ステレオカメラはカメラを共通筐体へ別々に取付けてきた。したがって、これらの2台のカメラ間の位置合わせはボルト、ドエルピンまたはその両方により維持され

50

る。撮像装置に対するレンズの各カメラ内の位置合わせもまたボルト、ドエルピンまたはその両方により維持される。これらの場所のそれでは、外部衝撃が部品のずれと較正精度の損失とを引き起こす可能性がある。

【0044】

独創的ステレオカメラセンサユニットは、撮像装置またはレンズのずれを防止するため多くの設計措置を取り入れる。第1に、個別部品実装の代わりに一体成型光学サブフレームが使用される。これは、両方の撮像装置と両方のレンズが单一機械加工部品へ直接取付けられることを意味する。これにより、従来の個別実装より正確な初期実装と長期にわたる正確な位置合わせとを可能にする。

【0045】

例えば、両方の撮像装置は、光学サブフレームの單一面へ直接ボルト締めにされるため、互いに同一面内に存在することが保証される。従来の個別実装は、一方の撮像装置が他方の撮像装置の前方または後方に存在することまたはわずかな角度で傾斜されることを許容する。これらの種類の取付け誤差はシステムの較正モデルの要素に入れられ得、それらの影響は結果として得られるデータから除去され得るが、正確なレンズと撮像装置との位置合わせを有するほうが好適であり得る。

【0046】

加えて、光学サブフレームは個別実装より長期にわたってより良好な較正精度を維持する。これは、レンズと撮像装置と左右レンズ／撮像装置ペアとの間のボルトまたはドエルピンの数の低下による。接続の数が減少するため、システムはより頑丈になり、取付けと位置合わせは長期にわたってより安定する。

【0047】

図2Aはステレオセンサヘッド200の斜視図であり、プラスチック、金属または任意の他の好適な材料で作られ得るセンサヘッド外部筐体204を示す。筐体204は、単一材料片から成形または機械加工され得るまたは複数の材料片から形成され得る。筐体204は、レーザ走査機構300上にレセプタクル（図示せず）に嵌め込まれたドエルピン206aおよび206b（集合的にドエルピン206）および／またはステレオセンサヘッド200をレーザ走査機構300（図1A）へ位置合わせするための他の機構を含む。筐体204はまた、密閉通路208、またはセンサヘッド200から外部電源、プロセッサ、メモリ、アンテナ、通信インターフェースまたは他の電気的および／または機械的部品へのケーブルを走らせるための他の開口を画定し得る。

【0048】

図2Bおよび2Cは、位置合わせドエルピンまたはレーザアセンブリ用の他のアタッチメントを含まないステレオセンサヘッド250の図を示す。図2Aに示すステレオセンサヘッド200のように、ステレオセンサヘッド250は、単一材料片から成形または機械加工され得るまたは複数の材料片から形成され得る筐体254を含む。組立てられると、筐体254は、カメラ210および関連エレクトロニクス（図示せず）を保持するための空洞と、カメラ210、照明、電力／データコネクタ102およびLEDコネクタ用の開口とを画定する。

【0049】

図7Aおよび7Bは、図2Aに示す筐体204より広い筐体704を有する別のステレオ視システム700を示す。筐体704は、静的O-リング、窒素空気抜き弁、および／またはその後面パネル上の圧力弁により密閉され得る。筐体704は、固体キーロックインサート（図2Cではより狭い筐体204の左右後縁部上にも視認可能）と高精度位置合わせ用ドエルピンとを有するマウント706を含む。この筐体704はまた、それぞれのカメラ710a、710b（集合的にカメラ710）用の一対の窓702aおよび702b（集合的に窓702）を含む。これらのカメラ710は、コネクタ720aおよび720bと接続する1つまたは複数の可撓リボンケーブルを介しプロセッサへ結合され得る。他の例と同様に、窓702は、低光学歪みを有する耐衝撃性ガラスまたはプラスチックで作られ得る。しかし、この場合、窓702とカメラ710は、より広い基準線を提供する

10

20

30

40

50

ためにより広く分離され、ひいては3D深さ精度を改善し、利用可能範囲を増加する。加えて、筐体700は、カメラ710間に水平方向に分散されたそれぞれの窓714の背後に4つのLEDアレイ712を含む。これらのLEDアレイ712は、可視光照明、IR照明、または画像忠実度の改善と高精度なピント調整のための可視光照明とIR照明との組合せを提供し得る。

【0050】

フィールドプログラマブルゲートアレイから熱を伝導する熱伝導性パッド

システムの最大の発熱体は、主処理フィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)または特定用途向け集積回路(ASIC)を含み得るプロセッサ510である。適切に冷却されなければ、プロセッサ510は、システムが高周囲温度で動作されれば過熱して物理的障害を受け得る。プロセッサ510は密閉筐体内部に存在するため、プロセッサ510から熱を除去することは難しい可能性がある。

【0051】

図3A～3Dは、センサヘッド200の断面図を示す。これらの図は、処理ユニット500、撮像装置212、撮像装置PCB214を含むエレクトロニクスアセンブリ600を示す(図6Aおよび6Bにおいてより詳しく示す)。図3Aおよび3Cに示すように、ユニタリフレーム240は撮像装置212をそれぞれの光学素子(図4Aに示すレンズ230)に対し適所に保持する。ユニタリフレーム240は、温度変動がステレオ撮像精度に影響を与えるのを防止するために撮像装置212が互いに位置合わせされたままであることを保証するように比較的低い熱膨張率を有する単一材料片(例えば、プラスチックまたは金属の材料片)から機械加工、成形、またはそうでなければ作製され得る。フレーム240は、撮像装置212とその実装用PCB214とがボルト締めされる離散面内実装面260または単一連続的実装面を有し得る。撮像装置212と撮像装置PCB214とを単一ユニタリフレーム240上の面内実装機構260へボルト締めしピン止めすることにより、撮像装置212の実装精度と実装安定性とを改善する。これにより、システムの較正が長期にわたって高精度となるため、より高品質の3Dデータが得られる。いくつかの実施形態では、エレクトロニクスアセンブリ600は、撮像装置212と光学素子間のより高い位置合わせ精度のためにユニタリフレーム240へ直接取付けられる。

【0052】

図3A～3Dはまた、プロセッサ510(例えば、ASICまたはFPGA)と筐体204内に組込まれる熱伝導壁280間に熱伝導性パッド282を示す。この内壁280は、外部環境へ直接露出されないが、多くの外面を有する筐体204の一部である。したがって、プロセッサ510からの熱はパッド282を通り内壁280を加熱する。熱は、壁280を貫流し、その多くの外面を介し熱を外界へ放散する筐体204の残りの部分へ流れる。いくつかのケースでは、外壁は熱放散を増加するための1つまたは複数のフィン724(図7B)を含み得る。全体として、この設計は、熱源(例えば、プロセッサ510)と外界との間に低インピーダンスを有する熱経路を生成する。この設計は、ファンなどのいかなる能動的冷却措置も必要とせず、システムの密閉完全性を維持する。他の実施形態では、筐体204は、プロセッサ510が外壁と当接してプロセッサ510と外部空気間の熱経路の長さを低減するように構成され得る。

【0053】

ステレオ視用光学アセンブリ

図4A、図4Bおよび図5A～5Dは、ステレオセンサ200内のカメラ210のうちの1つのカメラ210の光学アセンブリ220の様々な図を示す。図4Aに示すように、光学サブアセンブリ光学素子220は1つまたは複数のレンズ230および/または撮像装置212上に場面を撮像するための他の光学素子を含む。光学サブアセンブリ220はまた、O-リングシール222を使用することにより筐体204に対して配置されるカスタム窓202を含む。フォーム226は光を遮断するとともに、画質を低減し得る反射を防止し、フォーカスシム228は筐体204と撮像装置212に対してレンズ230を適所に維持する。ドエルピン262は各撮像装置212をユニタリフレーム240に対し位

10

20

30

40

50

置合わせし、ボルト 264 は撮像装置 212 をユニタリフレーム 240 へ固定する。

【0054】

ライトとセンサレンズ用の別々の窓

図 7A および 7B に示すように、ステレオセンサヘッド 700 は撮像装置光学素子とシステム照明用の別々の光学窓を有し得る。出射照明は、窓から、光源（例えば、発光ダイオード）を保持する空洞内へ部分的に反射され得る、または窓自体により吸収され得る。窓内で失われる照明は、埃、水、汚れ、または任意の他の破片粒子（ビーム出射位置から直線的にオフセットされた破片粒子も）を照らし出す。したがって、撮像光学素子と同じ窓の背後の照明がシステムレンズの視野内の破片を照らし出し、照明されない破片より大きな場面干渉を引き起こし得る。失われた照明が画質を劣化させるのを防止するために、本システムはレンズと照明の前に別々の窓を採用する。

10

【0055】

照明光源（LED 群 712）の前の窓 714 は照明をある程度拡散するために艶消しされ得る。艶消しは、陰の鮮鋭度を減少させ、放射光をよりソフトにしかつ余り強くさせなく、配光内の「ホットスポット」を低減する。この散乱光は、より均一な照明を提供するとともに陰影を減らすことによりステレオアルゴリズムが左右の特徴を照合するのをより容易にし得る。

【0056】

照明

システムの照明の視角がレンズと撮像装置の視野を厳密に一致させる。これは、「システムが、ユーザまたはステレオカメラに光学的視認可能でない場面の部分を照らす電力を浪費しない」ことを意味する。その結果、システム電力効率が高くなる。

20

【0057】

システムは、可視光照明、赤外線照明、または可視光照明と IR 照明の両方を提供する光源を含み得る。撮像装置は IR に敏感であり、IR 照明の選択肢は、システムが夜間に可視光照明無しに動作できるようにする。

【0058】

様々な基準線を可能にする分離可能撮像装置基板

図 6A および 6B はエレクトロニクスアセンブリ 600 をさらに詳細に示す。エレクトロニクスアセンブリ 600 は、画像センサアレイ 212、イメージセンサ PCB 214、処理ユニット 500 を含む。これらの部品は機械的に、熱的に、電気的に主ロジック PCB 290 へ結合され、主ロジック PCB 290 はまた、能動電子部品と様々なデータおよび電源接続 294 とへ電力を供給する電源 292 を支持する。図 6A に示すように、PCB 290 は、長さ約 4 インチ（10.16 cm）、高さ約 4.2 インチ（106.68 cm）と比較的小さくなり得る。

30

【0059】

撮像装置プリント回路基板（PCB）は主ロジック PCB 290 およびプロセッサ PCB（処理モジュール）500 とは別であり、これにより新しいシステム基準線（幾何学形状）へのより容易な適応だけでなくより厳しいシステム実装も可能にする。図 6A、6B に示すように主ロジック PCB 290 へ直接差し込む撮像装置 PCB 214 の代わりに、一方または両方の撮像装置 PCB 214 は、フレキシブルリボンケーブルまたは他の好適なフレキシブル、拡張可能または伸張可能コネクタを介し主ロジック PCB 290 へ接続され得る。例えば、図 7B は、フレキシブルリボンケーブルを介し撮像装置（符号で示されない）を主ロジック PCB 298 へ結合するためのコネクタ 720a および 720b を示す。これらのケーブルは様々な長さで構築され得、システム基準線が数インチから数フィート（例えば、6 ~ 10 フィート（182.88 ~ 304.80 cm））まで変化できるようにする。プロセッサロジック 500 はプロセッサ 510 と左右カメラ 210 間の電気的長さの差に若干依存して変わる。電気的長さの差を考慮するために、プロセッサ 510 は、カメラ 210 がそれぞれのトリガ信号を同時に受信するようにトリガ信号をより近いカメラ（例えば、カメラ 210B）へ送信する若干前（例えば、数ナノ秒前）に遠いカ

40

50

メラ（例えば、カメラ 210a）のトリガ信号を送信し得る。加えて、プロセッサ（FPGA）510上のクロック回復ロジックは同様に、左右カメラ210間のクロックオフセットを補償するために修正され得る。撮像装置212はまた、このような配置を支援するのに十分広い基準線を有するステレオヘッド内にフレキシブルケーブルおよび/または専用撮像装置PCBを使用することなく主ロジックPCB290上に直接取付けられ得る。

【0060】

レーザ距離計とレーザ走査機構

図8A～8Dは、低電力消費（例えば、約2ワット～約15ワット）、低回転速度（例えば、0～60rpm）、低スピンドルバックラッシュ（例えば、約0.1度～約0.5度）で動作する小型軽量レーザ走査機構300を示す。動作中、レーザ走査機構300は、通常は2Dレーザ距離測定センサから3D範囲の部分的球面を生成するために、レーザ310から発射された（例えば、最大約180または270度の）平面レーザビームを掃引または走査するように第1軸3を中心としてレーザ310を振動または連続的回転させる。レーザビームは、危険を生じることなく確実に検出可能な戻り光を生成するのに十分に高い電力において眼に安全な波長（例えば、950nmなどスペクトルの近赤外部内の波長）であり得る。スポットサイズとビーム広がり角は、光学技術分野において理解されるように、高精度な距離測定を保証するように選択され得る。

【0061】

レーザ走査機構300は、外界と機構空洞321間の第1のシール380と機構空洞321とエレクトロニクス空洞323間の第2のシール337とを含み、また、電気的開口（図8Bの配線通路360）により連続的スピンドル回転を与える。走査機構300とそのギヤ列は外部負荷特には小さなギヤ歯を損傷し得る衝撃から保護される。

【0062】

一実施形態では、走査機構300は単一段ワーム減速ギヤを含む。单一噛み合いで高いギヤ減速比（例えば、50:1）のために、低バックラッシュが得られる。フローティングワーム330は、アセンブリが適所でボルト締めされる前にギヤ位置の調整を可能にするため、標準的ワーム駆動系を越える改善されたバックラッシュ（バックラッシュは機構の部品間の遊びの程度である）を提供する。このフローティングワーム330は、モータ352、ワーム軸331、および密封軸受け340を有するサブアセンブリ332と、サブアセンブリ332と他の部品とを含む筐体370とを含む。サブアセンブリ332はセンサユニット内に設置され、そのワーム330は大きなワームギヤ324と噛み合う。バックラッシュは、サブアセンブリ332の左右および上下の小さな動きにより調整され得る。バックラッシュが低減または最小化されると、サブアセンブリ332は1つまたは複数のワーム取付けボルト334により適所でロックされる。

【0063】

走査機構300は、コンプライアントモータマウント350と、軸331上の2つの軸受けと、軸331内に押し込まれるモータ軸上の2つの軸受けとを含む。動作中、コンプライアントモータマウント350は軸331の過剰制動を防止する。このコンプライアントモータマウント350は、回転に抵抗しながらモータとモータ軸が軸方向および半径方向へ動けるようにし、トルクがワーム軸331へ伝達されるようにする。コンプライアントモータマウント350は、鋼、プラスチック、または任意の他の好適な材料で作られ得る。

【0064】

ワーム330とワームギヤ324を含む機構空洞321とモータ352を含むエレクトロニクス空洞323との間の密閉性を維持するために、走査機構300は以下のものを含む：主スピンドル322上の密封軸受け；フローティングワームサブアセンブリ332上の密封軸受け；フローティングワーム筐体336内に設計された静的孔シールであって、バックラッシュ調整を可能にするためにフローティングワームアセンブリ332が若干移動されることを依然として可能にする一方で主筐体370へ密封される静的孔シール。加えて、電気的開口により連続的機械的回転を可能にするために滑りリング326がシス

10

20

30

40

50

テムの中空スピンドル 322 内に埋め込まれる。

【0065】

ワームギヤ 324 内の滑りクラッチ 325 は、外部からのねじり衝撃または衝撃負荷の場合にワームギヤの歯とワームの歯を機械的損傷から保護する。滑りクラッチ 325 は、スピンドル 322 とワームギヤ 330 間にはさまれた摩擦パッド 328 と、ワームギヤ 324 を摩擦パッド 328 内に押し込む 1 つまたは複数のばね 388 と、ばね 388 を圧縮する一連のスペーサ (シムスタック 386) および軸受けとを含む。摩擦パッド 328 は纖維ガラス、G10 Garolite、ブレーキパット材料、または高摩擦、低圧縮性または非圧縮性、高表面耐久性、強度 (摩耗を防止する) を示す任意の他の材料で作られ得る。ワームギヤ 324、摩擦パッド 328、スピンドル 322 間の回転抗力未満の回転負荷は、あたかもこれらすべてがまとめて強固にボルト締めされたかのようにこのシステム内を伝達される。しかし、より大きな回転負荷はワームギヤ 324 がスピンドル 322 に対し滑り始めるようにさせ、したがって、ワーム 330 とワームギヤ歯は高負荷 (衝撃負荷にも) に晒されない。この滑りクラッチは、システムが動力運動を受けていたときとシステムの電源が切られたときに動作する。高負荷条件が除去されると、ギヤ列はあたかもいかなる事象も発生しなかった (いかなる部品も、置換、リセット、修理される必要がない) かのように正常回転を再開する。

【0066】

図 8C および 8D は、駆動系がまた、エンコーダマウント 390 と、レーザデータを 3D 空間へ高精度に投影するためにスピンドル位置を測定する絶対軸位置エンコーダ 392 とを含み得ることを示す。カスタムエンコーダマウント 390 は、スピンドル 322 へボルト締めされ位置合わせされるフランジを含む。絶対軸位置エンコーダ 392 は、カスタムエンコーダマウント 390 とスピンドル 322 間にはさまれた穿孔または印付きリングを含む。動作中、フォトダイオードまたは他のセンサは、スピンドルの角度位置の指標を提供する絶対軸位置エンコーダ 392 上のマーキングを感知する。

【0067】

プロセッサ実施形態

図 9A ~ 9C は、独創的センサユニットに使用するのに好適な FPGA または ASIC を利用したプロセッサ 510 の実施形態を示す。このプロセッサ実施形態は、ステレオカメラ 200 のイメージセンサ 210 への 1 つまたは複数の撮像装置インターフェース 520a および 520b (集合的にインターフェイス 520) を含む。前処理ブロック 522a および 522b (集合的に前処理ブロック 522) は、イメージセンサ 210 から低電圧差動信号伝達 (LVDS) 線上の直列データを受信し、直列データを処理パイプラインの残りのための標準並列表現へ変換する。撮像装置インターフェース 520 は動的クロック / データアライメントを行う。撮像装置インターフェース 520 はまた、既知のフォーマットの入力直列データにロックするとともに直列データ内の誤差を検出する役割を果たす。

【0068】

図 9B に示すように、前処理ブロック 522 はまた、限定しないが以下の多種多様な前処理タスクのうちの任意の 1 つを行うように構成され得る。

- ・ 雑音除去 : 固定パターン雑音を除去し (ブロック 902) 、ランダム雑音をフィルタ除去する (ブロック 914) ;
- ・ クリッピング、黒レベル検出、自動露光、自動利得などのためのヒストグラム生成 (ブロック 904) ;
- ・ 線形化 : 高ダイナミックレンジ (HDR) 空間 (HDR 撮像が可能にされれば) から線形強度空間へ変換する (ブロック 906) ;
- ・ ビネット補正 : レンズに起因する画像のぼけた端 / 角を補正する (例えば、参照テーブル内に蓄積されたデータに基づき) (ブロック 908) ;
- ・ モザイク解除 : 例えば全体として参照により本明細書に援用する “Interpolation using a Threshold-based variable nu

member of gradients" algorithm (VNG) : <http://scien.stanford.edu/pages/labsite/1999/psych221/projects/99/tingchen/algodep/vargra.html> を使用することによりベイヤカラー画像をフルカラー画像に変換する (ブロック 910) ;

・色空間変換 : センサの RGB 色空間をパイプライン使用 (例えば、 RGB または CIE LAB) のために標準的色空間に変換する (ブロック 912) ;

・白バランス : 場面照度と一致するように色を調整する (ブロック 912) ;

・フィルタ処理 / サブサンプリング : 平滑化と次にサブサンプリングにより画像解像度を低減する (例えば、ユーザが最高分解能より低い分解能を要求すれば) (ブロック 916) 。

【 0069 】

図 9C に示すように、プロセッサ 510 はまた、例えば、カメラ毎に別々の整流ブロックを使用することによりまたは左右ステレオカメラにより共有される単一の純粋なメモリツーメモリブロック 524 を使用することによりカメラ 210 からのデータに対して整流を行い得る。この整流メモリツーメモリブロック 524 は、直接メモリアクセス (DMA) バス 590 へのそれ自体の接続を有し得る (前処理はまた、 DMA バスへ直接接続し得る)。プロセッサ資源を節約するために、単一の整流ブロック 524 は左右両方の画像経路間で共有される。

【 0070 】

整流モジュール 524 は、レンズにより導入されるいかなる歪みも除去するように画像データを変換する。パックコマンドストリーム (packed command stream) は、少数の絶対座標が散りばめられた一連の相対座標として、入力画素座標を効率的にエンコードするために使用される。コマンドデコーダ 952 は、 DMA バス 590 を介しメモリ 514 からこのコマンドストリームを読み出し、それを一連の純粋絶対画素座標にデコードする。他の実施形態は、上記コマンドストリームを除去することによりメモリ帯域幅を節約するために、および全コマンドストリームを再生成する必要無く較正を微調整できるようにするために (全コマンドストリーム再生成は高価な処理である) 、較正パラメータから直接、座標を動的に生成し得る。

【 0071 】

図 9C に示す整流モジュール 524 実施形態は、元画像を採取するために双線形補間を利用し、メモリアクセス効率を改善するためにキャッシュに依存する。マルチバンクキャッシュ 964 は、 (双線形補間に必要な) 4 つの入力画素すべてが同時に読み出されるようとする。本設計は完全パイプライン式であり、ほぼ 1 画素周期のスループットを維持し得る。キャッシュタグ参照とキャッシュデータ読み出し間の遅延線路は、データが実際に必要とされる前にキャッシュミスが解決されるようにする。

【 0072 】

いくつかの実施形態では、遅延線路は、整流ブロック 524 のフロントエンド 954 とバックエンド 958 間に配置されたファーストインファーストアウト (FIFO) コマンドバッファ 960 であり得る。フロントエンド 954 はコマンドデコーダ 952 から画素座標を受信し、所与の出力画素の入力画素を判断し、次に、それらの入力画素が整流ブロックのキャッシュ 964 内に既に存在するかどうかを判断するために整流ブロックのキャッシュタグ 956 をチェックする (キャッシュタグ 956 は、 (1) フロントエンド 954 がどの要求を DMA コントローラ 962 へ送信すべきかが分かるように、 (2) いつ特定のキャッシュエントリを参照する未発行コマンドが最早存在しなくなったかを DMA コントローラ 962 が知り、したがってそのエントリに安全に上書きできるように、 (3) いつ DMA コントローラ 962 がキャッシュ 964 内に新しいエントリをフェッチし終えたかをバックエンド 958 が分かるように、キャッシュ 964 内に現在存在するものを追跡する)。それらの入力画素が整流ブロックのキャッシュ内に存在しなければ、フロントエンド 954 は、 DMA バス 590 を介し欠落画素をフェッチするために主メモリ (510) へアクセスする。

10

20

30

40

50

4) へ 1 つまたは複数の読み出し要求を発行するように DMA コントローラ 962 に指示する。バックエンド 958 は、出力画素を生成するために入力画素（双線形サンプリングのための入力画素のうちの 4 つ）を使用する。主メモリは遅いことがあり得（例えば、100 サイクルを超える遅延を有することがあり）、バックエンド 958 を停止することは望ましくないことがあり得るため（例えば、所望平均スループットはパイプラインを円滑に動かすために 1 画素 / サイクルに近いことがあり得るため）、主メモリから欠落した画素をフェッチすることに伴う遅延を隠すことが望ましいことあり得る。

【 0073 】

いくつかの実施形態では、整流は分岐依存性または画素間依存性の無い極めて逐次的な処理であるため、メモリ遅延を隠すことはフロントエンドからバックエンドへ行く命令を遅らせることにより達成され得る。例えば、コマンドは、バックエンドが新しいデータを必要とする前にメモリ読み出しが完了するという合理的確実性を提供するために、遅延線路（ FIFO バッファ 960 ）をワーストケースメモリ遅延以上の期間の間使用することにより遅延され得る。

【 0074 】

プロセッサ 510 はまた、カメラから前処理および整流されたデータをステレオ画像に変換するためにステレオアルゴリズムブロック 592 を使用することにより好適なステレオ処理アルゴリズムを実施する。例えば、プロセッサ 510 はオープンソースコアを使用することによりステレオロック照合（ StereoBM ）アルゴリズムを実施し得る（例えば、その全体を参照により本明細書に援用する <http://danstrother.com/2011/06/10/fpga-stereo-vision-core-released/> を参照）。プロセッサ 510 はまた、準グローバルロック照合アルゴリズム、グローバルロック照合アルゴリズムを実施し得る（例えば、その全体を参照により本明細書に援用する <http://www.dlr.de/rm/en/Porta1Data/3/Resources/papers/modeler/cvpr05hh.pdf> を参照）。

【 0075 】

いくつかのケースでは、ステレオ処理ブロック 592 は、（図 9B に示す前処理パイプラインにより生成された未封止またはスケーリング済み画像（ unsealed or scaled images ）を取り扱う要求または必要に応じて）様々な解像度画像入力を処理できるようにするために動的に再構成され得る。より高い分解能入力はより多くの 3D 点とより高い深さ精度をもたらすがより多くの処理を必要とする。ステレオ処理ブロック 592 はまた、様々な視差範囲（ボリューム）を探索するために動的に再構成され得る。より大きな視差探索範囲はより大きな奥行き範囲を生じるがより多くの処理を必要とする。ステレオ処理ブロック 592 は、独立調整済み画像幅、像高、視差探索範囲を考慮し得る。画像解像度と視差探索範囲とを動的に調整することができることで、ステレオ処理ブロック 592 が分解能、範囲、フレームレート間のリアルタイムバランスを行えるようにする。ステレオ処理ブロック 592 自体は必ずしも画像データをスケーリングする役割を果たさないことに留意されたい。画像スケーリングは図 9B に示す前処理パイプラインにおいて行われ得る。

【 0076 】

探索視差範囲を動的に再構成する能力は、プロセッサ 510 に 3D 深さのうちのどれだけが探索されるかを調整できるようにする（より大きな視差探索範囲は、計算の増加を犠牲にしてカメラに近い対象を確実に感知する能力をもたらす）。探索深さ / 視差ボリュームは通常、無限後方からセンサ方向に広がる（ 0 の視差は無限大を表し、増加する視差は徐々に近くなる点を表す）。視差探索範囲が増加するにつれて、探索深さボリュームの近端はセンサへより近づく。

【 0077 】

加えて、プロセッサ 510 は、標準パイプラインフォーマットを取り、それをイーサネット接続（イーサーネット MAC 560 ）上で送信する前にユーザ要求フォーマット（

10

20

30

40

50

例えば、色空間、分解能、バイトフォーマット)へ変換する出力フォーマット化ブロック 572 を含み得る。プロセッサ 510 はまた、中央処理装置(CPU)542 からネットワークパケットの生成をオフロードするネットワークプロトコルオフロードブロック 570 を含み得る。プロセッサ 510 は、ハリスコーナアルゴリズム(Harris corners algorithm)または任意の他の好適なアルゴリズムを使用して画像内の「特徴」(例えば、複数フレームにわたって追跡するのに比較的一意的でありかつ好適な点)を検出する特徴検出ブロック(追加アルゴリズムブロック 594)を含み得る。プロセッサ 510 はまた、特徴検出ブロックへ結合された特徴追跡ブロックを含み得る。特徴追跡ブロックは検出された特徴を取り出しフレーム間でそれらを照合することを試みる。どのように特徴がフレーム間で動いたかを知ることにより、カメラの運動を推定することが可能である。

【0078】

当業者により理解されるように、ファームウェアは FPGA ロジックで実現される画像処理パイプラインを構成し監視し得る。例示的ファームウェアは、FPGA 内の単純なソフトコア CPU(Xilinx Microblaze)542 上で実行し得る。標準 Xilinx 提供周辺装置は以下のものを含むシステムの残りを構築するために使用され得る: DRAM コントローラ 564、AXI DMA バス 590、イーサーネット MAC 560、および補助 I/O ソース(例えば、I2C、RS232 など)へ結合された低速入/出力(I/O)ドライバ 540。

【0079】

センサ較正

較正誤差の検出

信頼性の一様相は、システム誤差を検出するとともに適切に応答することができる。屋外センサ(特に、カメラを含むセンサ)のシステム誤差の源は較正ドリフトである。衝撃、振動、熱効果はすべて、内部部品の相対位置に影響を与え、センサ幾何学形状と撮像パラメータの(場合によっては望ましくない)変化を生じ得る。これらの較正誤差を考慮するために、本システムは以下に述べるような 1 つまたは複数の組のパラメータを検出し得る:ステレオカメラの投射幾何学形状とレンズ歪みとを記述するパラメータ;スピンドルに対するレーザ走査装置の位置と配向を記述するパラメータ;およびステレオカメラに対するスピンドルの位置と配向を記述するパラメータ。

【0080】

画像一貫性評価:ステレオカメラの投射幾何学形状とレンズ歪み

独創的センサユニット内のカメラは、観測されている対象の 3D 位置と左右画像内に投影される 2D 位置との既知関係を設定するように較正され得る。対象の投影位置が期待に合わない場合、同カメラは較正に関する問題を示す。例えば、カメラが正常に較正されると、景色内の対象は左右画像内の同じ走査線上に現われる。右画像内よりむしろ左画像内で異なる走査線上に現われる対象を観察することにより、システムは較正ドリフトを検出し得る。同様に、カメラが正常に較正されると、はるか遠くの対象は各画像内の同じ左右の位置に現われる。対象がカメラに近づくにつれて、対象は 2 つの画像内のますます異なる左右の位置に現われる。この左右の位置の差はステレオ視差と呼ばれる。較正精度の 1 回のチェックでは、ユーザはカメラを遠くへ向けるように指示され得、次に、零からかけ離れた視差が較正誤差を示す。ステレオ画像ペアから測定された対象位置(および対象位置の差)はまた、以下に述べるように対象位置のレーザ距離計測定と相關付けられ得る。

【0081】

図 10 は、ステレオカメラを較正する処理 1000 を示す。ブロック 1002 では、1 または複数の静止基準が特定の環境内に配置または識別される。静止基準が適所に存在すると、ブロック 1004 において、システムは例えば工業用ロボットのエンドエフェクタを使用することにより一連の位置および配向(「姿勢」と呼ばれる)を通される。各姿勢において、結果として得られるカメラ画像は静止基準の画像位置を判断するために調査される(ブロック 1010)。姿勢と観察画像位置との各組合せは投影方程式 1008 に対

10

20

30

40

50

応する。

【0082】

ステレオ較正処理1000において収集されたデータは、世界座標内の基準位置、ロボットのエンドエフェクタに対するカメラの位置および配向、カメラ投射幾何学形状、およびレンズ歪みを含む未知パラメータを推定するために使用され得る。ステレオ較正処理1000における既知パラメータは、画像内の観測基準位置と世界座標内のロボットエンドエフェクタの位置および配向である。未知パラメータは、これらの投影方程式の多くを集約するとともに、観察結果にほぼ一致する未知パラメータの値を求める（例えば、非線形最小二乗または同様の最適化を利用することにより）ことにより検出される。

【0083】

10

レーザー貫性評価：スピンドルに対するレーザ走査装置の位置および配向

上述のようにそして図1Aと図8A～8Dに示すように、例示的独創的センサユニットは、レーザスピンドルを中心に連続的に回転し得るレーザを有するレーザ距離計を含み得る。これは、レーザ距離計が場面の大部分を2回測定することを意味する：すなわちレーザ距離計が走査するにつれてビームの左側による一回目と、次にビームの右側による180度後の2回目。レーザの較正が正しければ、これらの2組の測定は互いに一致する。位置ずれは、劣悪な較正を示し、センサユニットを再較正する（直す）ために使用され得る。

【0084】

20

図11は、スピンドルに対するレーザ走査装置の位置および配向を検出するために非線形最適化を採用するライダ較正処理1100を示す。この場合、システムは固定場面では静止して保持され、レーザデータはスピンドルが回転している間に集められる。スピンドルの一回転中、場面の大部分はレーザにより2回観測される。これを見るために、景色内の特定の対象の左側を走査するレーザを考察する。この走査は第1の組のレーザ範囲値とアジマス値1102をもたらす。次に、レーザが第2の組のレーザ範囲値とアジマス値1112を得るために同じ対象に対処するようにスピンドルを右側へ約180度回転することを考察する。各レーザ観察結果は、スピンドル角度（1104と1114）と、スピンドルに対するレーザ走査装置の位置および配向の推定値とに基づき計算され得る3D点（1106と1116）に対応する。第1の180度走査（1102）と第2の180度走査（1112）との一貫性を評価するために、プロセッサは、平面を第1の観察結果に局所的にフィッティングする「較正誤差」関数を定義し（工程1108）、次に、一貫性測定（112）を得るために第2の観察結果と適切な平面モデル（1110）との距離を計算する（1118）。この誤差関数の値は、観測レーザ範囲に最も一致する値を発見するために非線形最小二乗最適化、シミュレーテッドアニーリング（simulated annealing）、または同様の手法を使用することにより回収され得る較正パラメータに依存する。

30

【0085】

30

センサ間一貫性：ステレオカメラに対するスピンドルの位置および配向

レーザとステレオカメラアセンブリの両方は場面の3Dモデルを生成し得る。前のチェック結果が良好な較正と一致すれば、これらのモデルはセンサ間の幾何学的関係が正確であることを検証するために互いに比較され得る。残念ながら、ステレオ画像内の測定誤差は、この比較を高精度に行うのを困難にするように3D空間内に投影される。これは、あたかもレーザモデルがカメラにより見られているかのように画像内にレーザモデルを投影し、次に画像空間内の結果を比較することにより対処され得る。この較正評価に対する手法は、自然な場面または専用の較正標的を使用して実施され得る。

40

【0086】

図12は、レーザスピンドルに対してステレオセンサを較正または記録する処理を示す。レーザ距離計（ライダ）とステレオセンサが例えば図10と図11に示す処理を利用することにより較正されていれば、レーザデータは3Dレーザポイントクラウド1204に変換され得、カメラ画像は、画像内の多数の画素においてステレオ視差マップ1202を

50

計算するために使用され得る。プロセッサは、ステレオセンサの視野(FOV)に一致するようにレーザポイントクラウド1204をトリミングする(1206)。プロセッサは、模擬ライダ視差マップ1212を生成するためにライダツーステレオ(LIDAR-t0-sereo)変換パラメータ1210を使用して、トリミング済みポイントクラウド1208をステレオセンサ座標系へ変換する。次に、プロセッサは、ライダツーステレオ変換パラメータ1210を非線形に最適化する(1218)ために使用される類似性測定を生成する(1216)ために模擬ライダ視差マップ1212とステレオ視差マップ1202とを比較する(1214)。

【0087】

当業者により理解されるように、ステレオ視差はカメラ画像内の対象の3D位置に対応する。これらの3D位置はレーザから3Dポイントクラウド1204内に反映される。3Dレーザ観察結果をステレオカメラの座標系に変換することにより、予測視差画像1212を生成し、それをステレオカメラからの実際の視差画像1202と比較することが可能である。この変換はステレオカメラに対するスピンドルの位置および配向に依存し、再び、プロセッサは予測視差像と観測視差像との類似性を増加する較正パラメータ1208を発見するために非線形最適化を利用する。

10

【0088】

レーザ距離計較正

独創的センサユニットは、レーザ距離計を較正するために以下の技術の一方または両方を利用し得る：(1)既知幾何学形状の較正標的がレーザにより測定され、次に、これら既知標的の観察結果はレーザ較正パラメータの値を逆に求めるために利用される；(2)未知幾何学形状または未知位置の較正標的がレーザにより観測され、較正パラメータはレーザー貫性を増すために調整される(上を参照)。

20

【0089】

独創的センサユニットは、既知の対象または較正標的の測定を記録することと観察結果に最も一致する較正パラメータの組を探索することとに係る従来の手法を含むいくつかのタイプのカメラ較正法を支援し得る。例えば、ステレオカメラは、一連の未知位置および/または配向における較正標的の位置を検出し得る。結果画像は較正パラメータと未知位置とを判断するために利用される。これは、較正標的の位置が知られていない場合でも較正標的の既知形状が情報を提供するため、有効である。この手法は、レーザ距離計を使用するとともにステレオ画像データから判断された位置および/または較正パラメータの精度を検証するためにレーザ距離データを使用することにより較正標的の位置と幾何学形状を測定することにより拡張され得る。

30

【0090】

本発明のセンサユニットの精密な内部タイミングは別のカメラ較正手法を可能にする。カメラに赤外フィルタが取付けられていない場合、場面内の対象からのレーザビームの反射が画像内の点として現われ得る。この点は画像処理技術を使用することにより検出され得る。その位置は、左右画像内のレーザ測定3D点と一対の2D位置との対応関係を提供する。レーザの回転は、カメラ較正を計算するためのまさに入力であるこれらの対応関係の集合を提供する。

40

【0091】

以前の手法の一般論は、3Dレーザ測定と2D画像位置との対応関係を利用するが、画像内でレーザスポットが可視であることを必要としない。これは、カメラに赤外フィルタが取付けられている場合またはレーザスポットを見るには場面が余りにも明るく照明された場合でもこの技術がうまく機能するようにする。この場合、カメラと場面はレーザが多数の3D点を捕捉する間動かない。レーザ反射光がカメラに視認可能であれば、各3D点は、左右画像内のレーザスポットを検出することにより2D画像位置に一致され得る。その代りに、一致は、仮の較正パラメータを利用して投影2D位置が正しいことを装うことにより3D点をカメラ画像内に投影することにより見出される。仮の較正パラメータが正しくなければ、投影は正しくなく、3D-2D対応関係は不正確になり、そして場面が十

50

分にリッチ (rich) であると仮定すると、結果として得られる組合せの多くは画像一貫性メトリックに反することになる。較正パラメータはこの違反を低減するように調整され得る。

【0092】

視差マップ合成と比較

図13A～13Dは、ステレオ撮像システム内の左右カメラにより取得された以下の4つの画像を示す：左カメラにより取得された第1の画像（図13A）；右カメラにより取得された第1の画像（図13B）；左カメラにより取得された第2の画像（図13C）；右カメラにより取得された第2の画像（図13D）。カメラは異なる場所／角度から場面（環境）を観察するため、異なる観点から画像を取得する。当該技術分野において良く理解されているように、プロセッサはステレオ画像と視差マップを生成するためにこれらの画像のペアを使用し得る。ステレオ撮像システムが取得中に移動または変位すれば、ステレオ画像は異なる観点からの場面のステレオ図を示し得る。

10

【0093】

図14Aは、図13Aおよび13Bに示す左右画像に基づく第1の視差マップを示す。図14Bは、図13Cおよび13Dに示す左右画像に基づく第2の視差マップを示す。当業者により良く理解されているように、視差はステレオペアの左右像内の2つの対応点間の距離を指す。この距離は2対の座標（左画像の一対の座標と右画像の別の対の座標）間のベクトルとして表され得る。このベクトルの大きさは時に「視差値」と呼ばれる。ステレオ画像内のあらゆる画素の視差値を計算することで、例えば図16に示すような視差マップを得る。

20

【0094】

図16はまた、深さデータを含む合成画像を生成するために視差マップが画像データ上に重ねられることを示す。例えば、図17A、17Bはそれぞれ図14A、14Bの視差画像上に重ねられた図13の画像データを示す。深さデータは以下のカラーで現われる、戻り無し（一致無し）に対応する画像の灰色部分、景色内の近点を表す赤／黄色、および景色内の遠い点を表す緑色／青色。

【0095】

図17Aおよび17Bは、それぞれ図14Aおよび14Bに示す視差マップの3D投影である。図14Aおよび14Bのあらゆる画素はステレオセンサの較正データを使用して3D空間に投影され、次に、図13Aおよび13Bそれぞれからのデータにより色付けされる。ここでは元画像はモノクロである（黒と白）であるが、元画像もまたカラーであり得、カラー3D場面を生じる。図17Aおよび17Bに示す3D場面は生の3Dデータ（ポイントクラウド）を含み、これらのデータは三角またはメッシュ分割されない。しかし、プロセッサは、環境内の対象の位置および配向（ステレオセンサ自体の位置および配向を含む）の推定値を含む生の3Dポイントクラウドから場面とセンサについて多くの判断し得る。

30

【0096】

例えば、図17Aおよび17Bは、互いに重ねられ、（遠方のパイプ、地面、建物のような）3D特徴を照合することにより位置合わせされ、次に、2つの場面の差が検出および解析され得る。1つの差は、図13に示す源撮像装置を捕捉する間のステレオカメラの観点変化である。この前方観点変位は図17Aおよび17Bに示すパイプの長さの差を計算することにより測定され得る。加えて、センサのわずかなロールは、平面を地盤データにフィッティングし、地盤面と各元画像の仮想水平線との角度の差を測定することにより検出され得る。センサのヨーは同様に、建物と各元画像の仮想前方軸との角度の差を判断することにより測定され得る。

40

【0097】

プロセッサは、視差マップおよび／または3Dポイントクラウドが位置合わせされると、視差マップと3Dポイントクラウドとのその他の差を検出し得る。例えば、プロセッサは、場面対場面3D一致が低精度であるまたは大きな誤差を有する領域を識別することに

50

より、場面内の標的または対象の運動を検出し得る。プロセッサは、通りかかる人または遠方で運転中の車両に起因する3D位置ずれを感じるためにこの運動検出を使用し得る。プロセッサは場面の残り（例えば、場面の静的部分）から移動3D特徴点を分離および抽出することができる。いくつかのケースでは、プロセッサはまた、動いている対象の3D位置と3D軌道（それ自体の運動を含む）を計算し得る。

【0098】

図18Aおよび18Bはそれぞれ、センサを煙で掩蔽したレーザポイントクラウドデータとステレオ画像データから合成された画像と、センサを煙で掩蔽しないレーザポイントクラウドデータとステレオ画像データから合成された画像とを示す。煙が無ければ、レーザポイントクラウドは場面の正確な表現である。煙と埃のような他の浮遊物は標的へおよび／または標的から伝播するにつれてレーザビームを吸収または散乱し得、レーザ距離計データを破壊する。煙が可視光（または場合により赤外線）波長の光を通せば、ステレオセンサは依然として場面の正確な表現を生成することができ得る。

10

【0099】

結論

様々な独創的実施形態が本明細書において説明および示されたが、当業者は、機能を行うための、および／または結果および／またはここで説明する利点の1つまたは複数を得るための多種多様な他の手段および／または構造を容易に想定するが、このような変形および／または整流のそれぞれはここで説明する本発明の実施形態の範囲内であると見なされる。より一般的には、当業者は、ここで説明するパラメータ、寸法、材料、構成はすべて例示的であることと、実際のパラメータ、寸法、材料、および／または構成は本発明の教示が利用される特定の用途に依存することとを容易に認識する。当業者は、ここで説明する特定の独創的実施形態に対する通常の実験作業と多くの均等物を使用することを認識することになるまたは確認することができる。したがって、これまでの実施形態は単に一例として提示されたことと、添付された請求項の範囲とその均等物内で独創的実施形態は詳細に記載および請求されたものとは異なる方法で実施され得ることが理解される。本開示の独創的実施形態は、ここで説明した各個々の特徴、システム、物品、材料、キット、および／または方法に向けられる。加えて、このような特徴、システム、物品、材料、キット、および／または方法が互いに矛盾していなければ、このような特徴、システム、物品、材料、キット、および／または方法の2つ以上の任意の組合せは本開示の本発明の範囲内に含まれる。

20

【0100】

上記実施形態は多数の方法のうちの任意の方法で実施され得る。例えば、実施形態はハードウェア、ソフトウェア、またはそれらの組合せを使用して実施され得る。ソフトウェアで実施される場合、ソフトウェアコードは、單一コンピュータ内に提供されるか複数のコンピュータ間で分散されるかにかかわらず、任意の好適なプロセッサまたはプロセッサの集合上で実行され得る。

30

【0101】

さらに、コンピュータは、ラックマウントコンピュータ、デスクトップコンピュータ、ラップトップコンピュータ、またはタブレットコンピュータなどの多くの形態のうちの任意の形態で具現化され得ることを理解すべきである。加えて、コンピュータは、通常はコンピュータと見なされない装置であるが個人用デジタル情報処理端末（PDA）、スマートフォンまたは任意の他の好適な携帯型または固定電子装置を含む好適な処理能力を有する装置に埋め込まれ得る。

40

【0102】

また、コンピュータは1つまたは複数の入出力装置を有し得る。これらの装置はとりわけユーザインターフェースを提供するために利用され得る。ユーザインターフェースを提供するために利用し得る出力装置の例としては、出力の可視提示のためのプリンタまたは表示画面と出力の可聴提示のためのスピーカまたは他の音生成装置が挙げられる。ユーザインターフェースに使用され得る入力装置の例としては、キーボード、およびマウス、タ

50

タッチパッド、デジタイジングタブレットなどのポインティング装置が挙げられる。別の例として、コンピュータは音声認識によりまたは他の可聴フォーマットで入力情報を受信し得る。

【0103】

このようなコンピュータは、任意の好適な形式で、ローカルエリアネットワークまたは企業ネットワークなどの広域ネットワーク、インテリジェントネットワーク（IN）またはインターネットを含む1つまたは複数のネットワークにより相互に連結され得る。このようなネットワークは任意の好適な技術に基づき得、任意の好適なプロトコルに従って動作し得、無線ネットワーク、有線ネットワークまたは光ファイバーネットワークを含み得る。

10

【0104】

本明細書で概説された様々な方法または処理は、多種多様なオペレーティングシステムまたはプラットホームのうちの任意の1つを採用する1つまたは複数のプロセッサ上で実行可能なソフトウェアとしてコード化され得る。加えて、このようなソフトウェアは、多くの好適なプログラミング言語および/またはプログラムまたはスクリプトツールのうちの任意のものを使用して書かれ得る、またフレームワークまたはバーチャルマシン上で実行される実行可能機械語コードまたは中間コードとしてコンパイルされ得る。

【0105】

この点で、様々な発明概念は、1つまたは複数のコンピュータまたは他のプロセッサ上で実行されると上述の本発明の様々な実施形態を実施する方法を行う1または複数のプログラムでエンコードされたコンピュータ可読記憶媒体（または複数のコンピュータ可読記憶媒体）（例えば、コンピュータメモリ、1つまたは複数のフロッピーディスク、コンパクトディスク、光ディスク、磁気テープ、フラッシュメモリ、フィールドプログラマブルゲートアレイまたは他の半導体素子内の回路構成、または他の非一時的媒体または有形コンピュータ記憶媒体）として具現化され得る。1つまたは複数のコンピュータ可読媒体は、その上に格納された1つまたは複数のプログラムが、上述の本発明の様々な態様を実施するために1または複数の異なるコンピュータまたは他のプロセッサ上にロードされ得るように移植可能であり得る。

20

【0106】

用語「プログラム」または「ソフトウェア」は、上述の実施形態の様々な様相を実施するようにコンピュータまたは他のプロセッサをプログラムするために採用され得る任意のタイプのコンピュータコードまたは一組のコンピュータ実行可能命令を参照するために一般的な意味で本明細書では使用される。加えて、一態様によると、実行されると本発明の方法を行う1つまたは複数のコンピュータプログラムは、單一コンピュータまたはプロセッサ上に存在する必要はないが、本発明の様々な態様を実施するために多くの異なるコンピュータまたはプロセッサ間でモジュール的な方法で分散され得ることを理解すべきである。

30

【0107】

コンピュータ実行可能命令は、1つまたは複数のコンピュータまたは他の装置により実行されるプログラムモジュールなどの多くの形式であり得る。通常、プログラムモジュールは、特定のタスクを行うまたは特定の抽象データ型を実施するルーチン、プログラム、オブジェクト、部品、データ構造などを含む。通常、プログラムモジュールの機能は、様々な実施形態において望まれるように組合せまたは分散され得る。

40

【0108】

また、データ構造は任意の好適な形式でコンピュータ可読媒体内に格納され得る。説明を簡単にするために、データ構造はデータ構造内の位置により関係付けられるフィールドを有するように示されることがある。このような関係は同様に、フィールド間の関係を伝えるコンピュータ読み取り可能媒体内の位置によりフィールドの記憶場所を割り当てることにより実現され得る。しかし、データ構造のフィールド内の情報間の関係を設定する（データ要素間の関係を設定するポインタ、タグ、または他の機構を使用することにより設定

50

することを含む)ために任意の好適な機構が使用され得る。

【0109】

また、様々な発明概念は、その例が提供された1つまたは複数の方法として具現化され得る。方法の一部として行われる行為は任意の好適な方法で順序付けられ得る。したがって、例示的実施形態において連続行為として示されたとしても、示されたものとは異なる順序で行為が行われる実施形態であつていくつかの行為を同時にを行うことを含み得る実施形態が構築され得る。

【0110】

本明細書で定義および使用されたすべての定義は、辞書定義、参照により援用された文献における定義、および/または定義された用語の通常の意味に支配されると理解すべきである。

10

【0111】

本明細書と特許請求の範囲において使用される不定冠詞は、特に明記しない限り「少なくとも1つ」を意味するものと理解すべきである

本明細書と特許請求の範囲において使用される語句「および/または」は、そのように結合された要素の「いずれかまたは両方」(すなわち、いくつかのケースでは結合して存在し他の場合では分離して存在する要素)を意味するものと理解すべきである。「および/または」により列挙された複数の要素は同様に(すなわち、そのように結合された要素のうちの「1つまたは複数」を意味するものと)解釈されるべきである。「および/または」語句により特に識別された要素以外の他の要素は、特に識別された要素に關係しても關係しなくても任意選択的に存在し得る。したがって、非限定的な例として「Aおよび/またはB」への参照は、「含む」などの開放言語と共に使用されると一実施形態ではAだけ(B以外の要素を任意選択的に含む)を、別の実施形態ではBだけ(A以外の要素を任意選択的に含む)を、さらに別の実施形態ではAとB両方(他の要素を任意選択的に含む)を参照し得る。

20

【0112】

本明細書と特許請求の範囲において使用されるように、「または」は上に定義された「および/または」と同じ意味を有するものと理解すべきである。例えば、リスト内の項目を分類する場合、「または」または「および/または」は包括的である、すなわち、多くの要素または要素のリストおよび任意選択的に追加の無記載項目のうちの少なくとも1つ(2つ以上を含む)の包含であると解釈されるものとする。それと反対に、「~のうちの1つのみ」または「~のうちの正確に1つ」などの明示された用語、または特許請求の範囲に使用される場合の用語「~からなる」のみは、多くの要素または要素のリストのうちの正確に1つの要素の包含を指す。一般的に、本明細書で使用される用語「または」は、「いずれか」、「~のうちの1つ」、「~のうちの1つのみ」、または「~のうちの正確に1つ」などの排他的用語により先行されると、排他的代替物(すなわち、「一方または他方であるが両方ではない」)を示すものとだけ解釈されるものとする。「~から本質的になる」は特許請求の範囲において使用されると、特許法の分野で使用されるようにその通常の意味を有するものとする。

30

【0113】

本明細書と特許請求の範囲において使用されるように、1つまたは複数の要素のリストを参照した語句「少なくとも1つ」は、要素のリスト内の要素のうちの任意の1つまたは複数から選択された少なくとも1つの要素を意味するが、要素のリスト内に特に列記されたありとあらゆる要素のうちの少なくとも1つを必ずしも含まなく、そして要素のリスト内の要素の任意の組合せを排除しないものと理解すべきである。この定義はまた、要素のリスト内に特に識別された要素(語句「少なくとも1つ」が参照する)以外の要素が特に識別された要素に關係しても關係しなくても任意選択的に存在し得ることを許容する。したがって、非限定的な例として、「AとBの少なくとも1つ」(または、均等に「AまたはBの少なくとも1つ」、または均等に「Aおよび/またはBの少なくとも1つ」)は、一実施形態では、Bの存在無しに(およびB以外の要素を任意選択的に含む)少なくとも

40

50

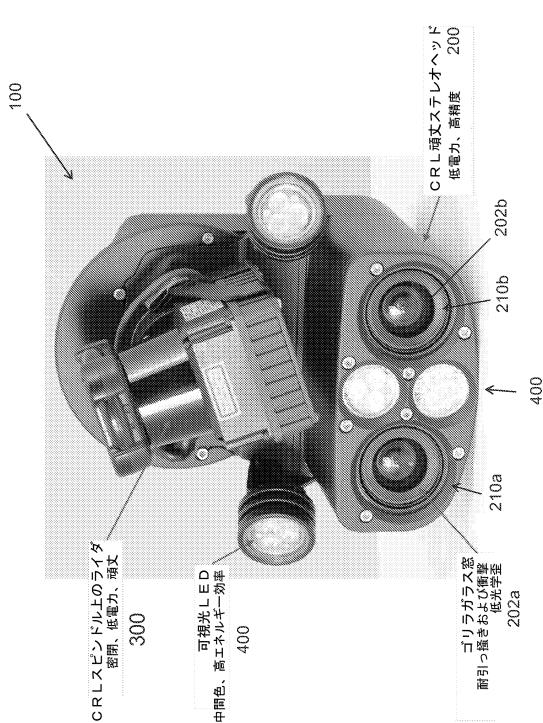
1つのA（2つ以上を任意選択的に含む）を指し得、別の実施形態では、Bの存在無しに（およびA以外の要素を任意選択的に含む）少なくとも1つのB（2つ以上を任意選択的に含む）を指し、さらに別の実施形態では、少なくとも1つのA（2つ以上のAを任意選択的に含む）と少なくとも1つのB（2つ以上のBを任意選択的に含む）（および任意選択的に他の要素を含む）などを指す。

【 0 1 1 4 】

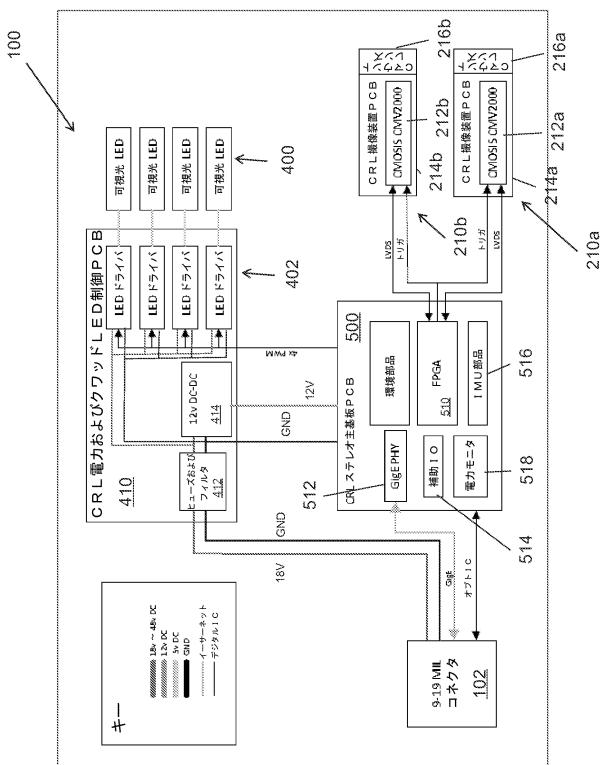
上記本明細書だけでなく特許請求の範囲において、「含む」、「持する」、「有する」、「含有する」、「係わる」、「保持する」、「～から構成される」などのすべての移行句は、開放的である、すなわち含むが限定しないことを意味すると理解される。移行句「～からなる」および「～から本質的に構成される」のみは、米国特許商標庁の特許審査手順マニュアル(United States Patent Office Manual of Patent Examining Procedures)セクション2111.03に記載されるように、それぞれ閉鎖移行句または準閉鎖移行句であるものとする。

10

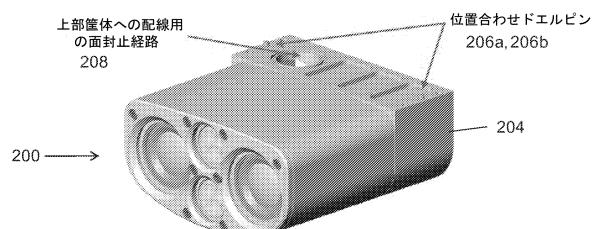
【図 1 A】



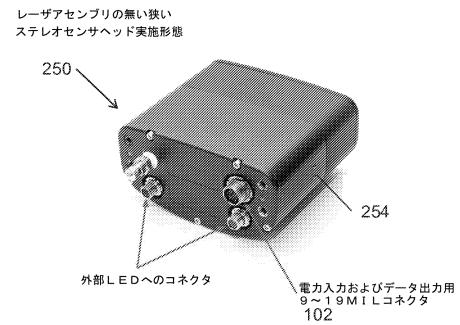
【 図 1 B 】



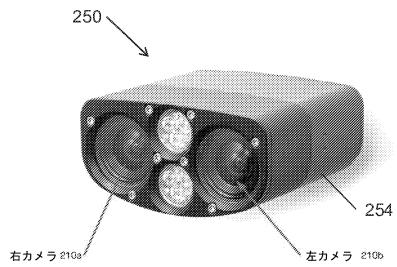
【図2A】



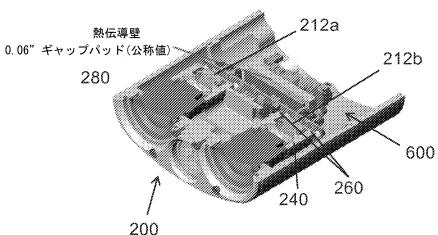
【図2C】



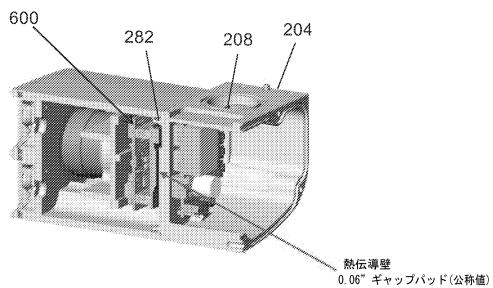
【図2B】



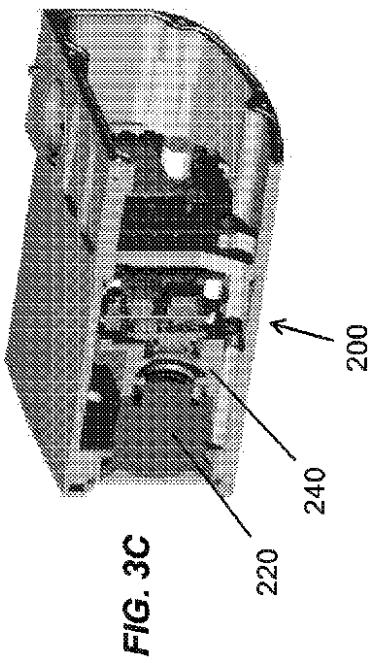
【図3A】



【図3B】



【図3C】



【図 3 D】

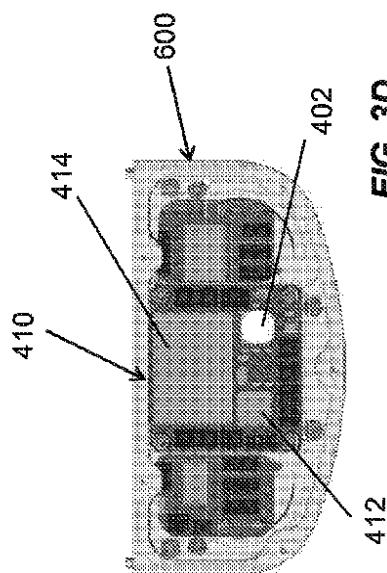
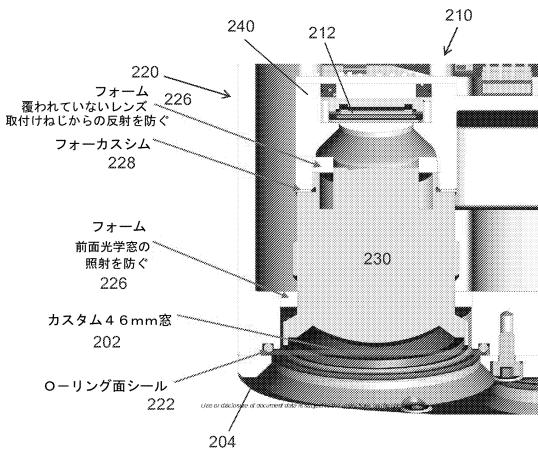


FIG. 3D

【図 4 A】



【図 4 B】

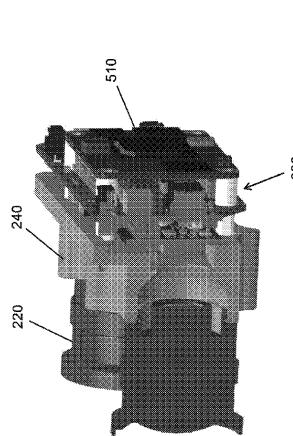


FIG. 4B

【図 5 A】

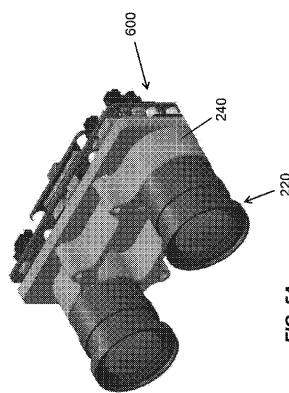


FIG. 5A

【図 5 B】

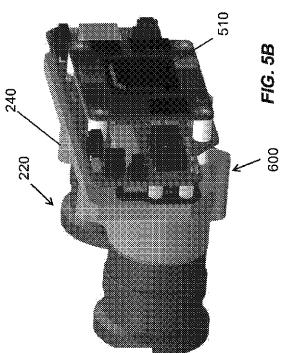
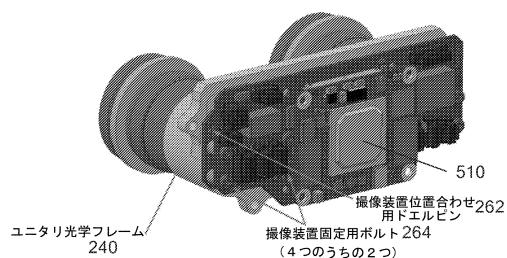
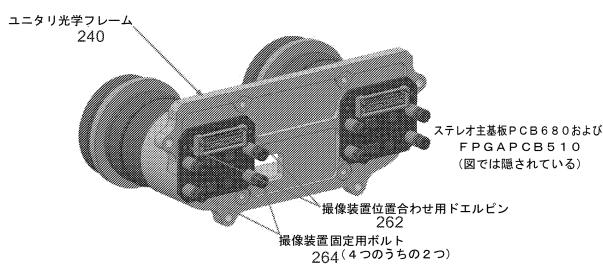


FIG. 5B

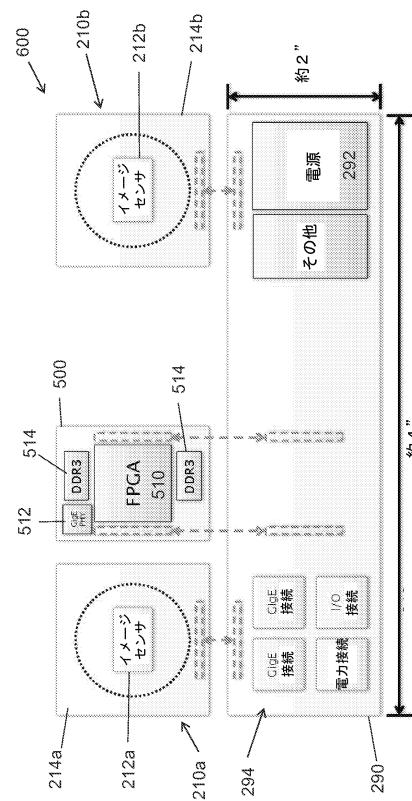
【図 5 C】



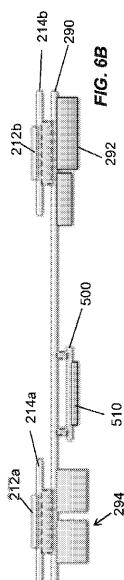
【図 5 D】



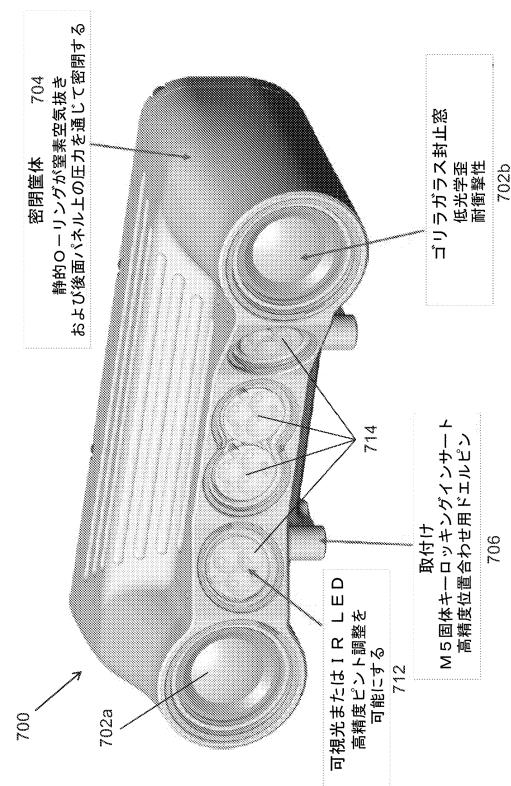
【図 6 A】



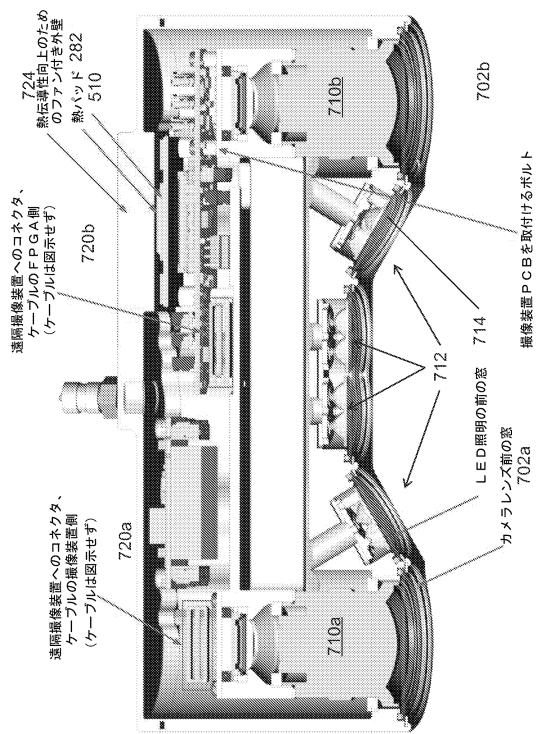
【図 6 B】



【図 7 A】



【図7B】



【図 8 A】

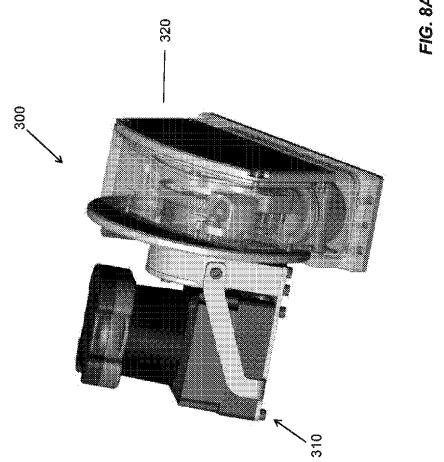
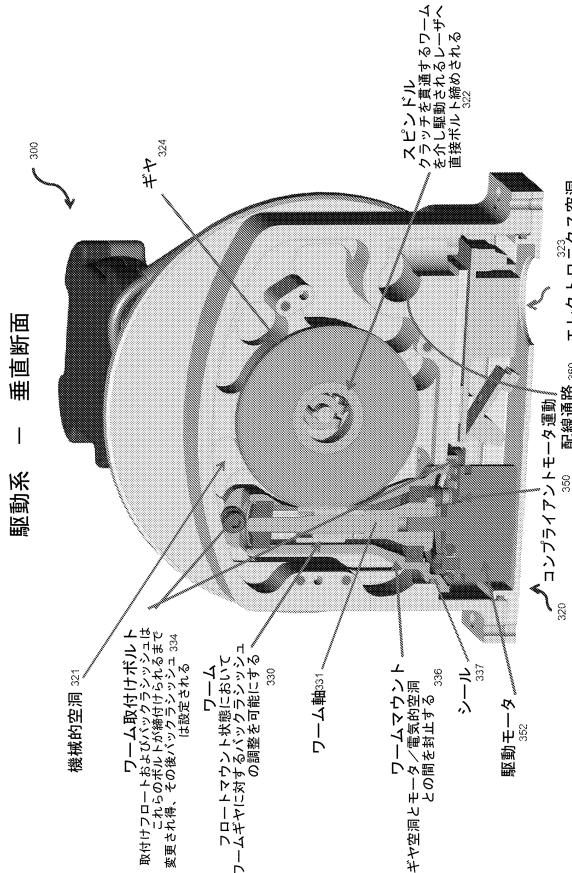
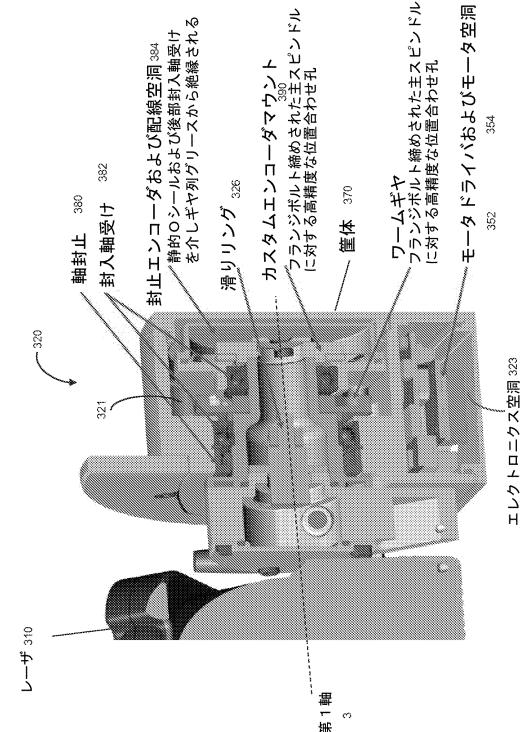


FIG. 8A

【 図 8 B 】

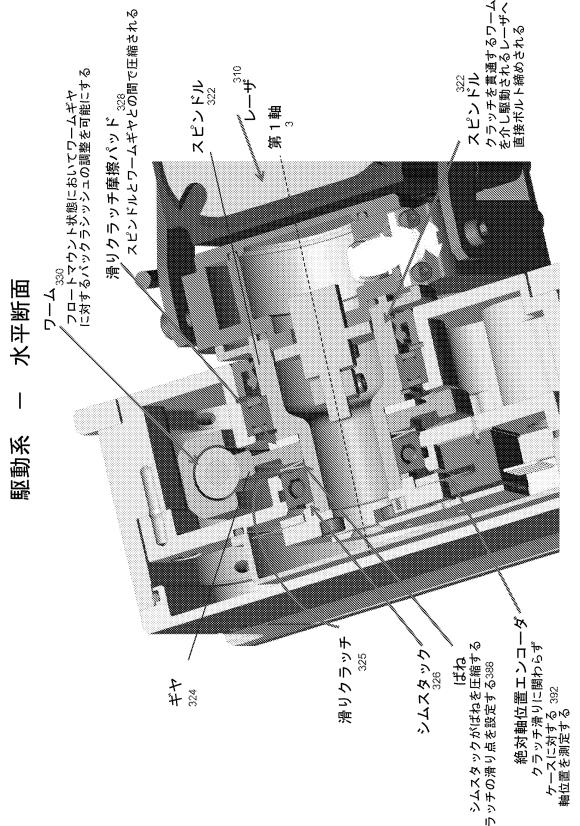


【図8C】



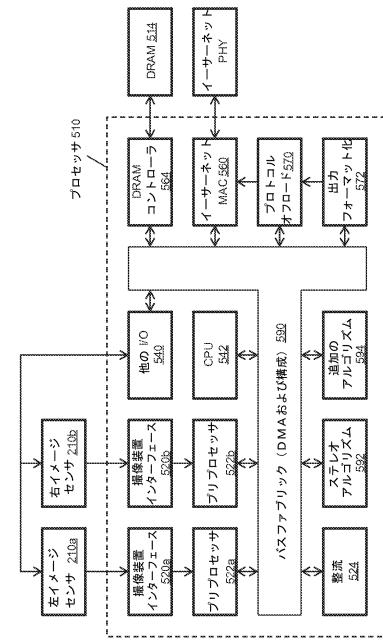
エレクトロニクス空洞 323

【 図 8 D 】



【図9B】

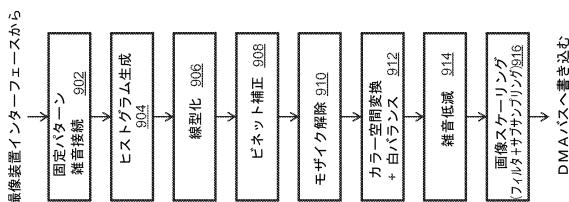
【図9A】



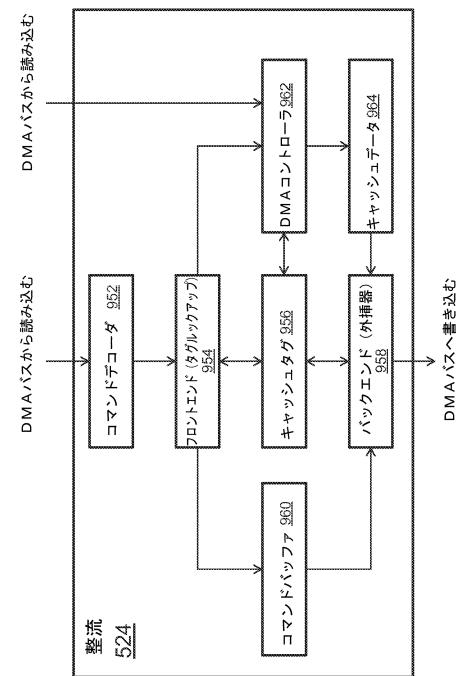
ステレオプロセッサシステム

【図9C】

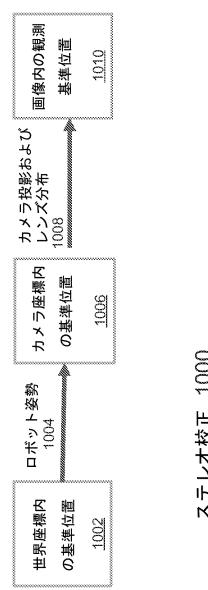
前処理バイブルайн



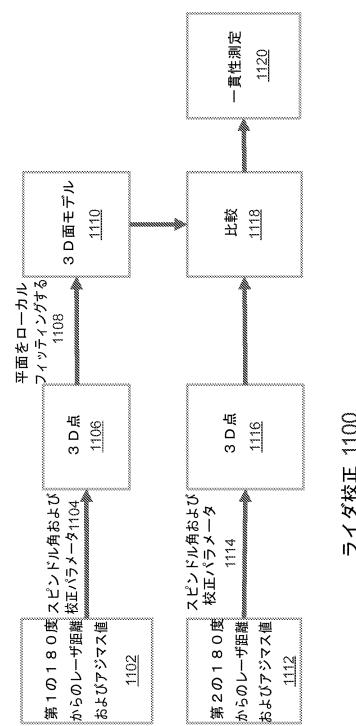
整流干渉干



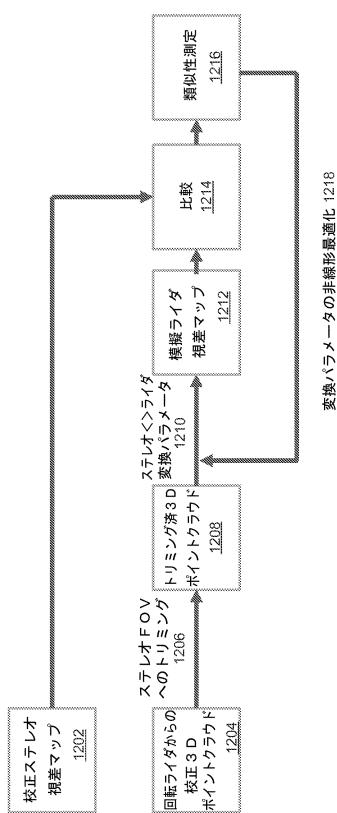
【図 1 0】



【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3 A】

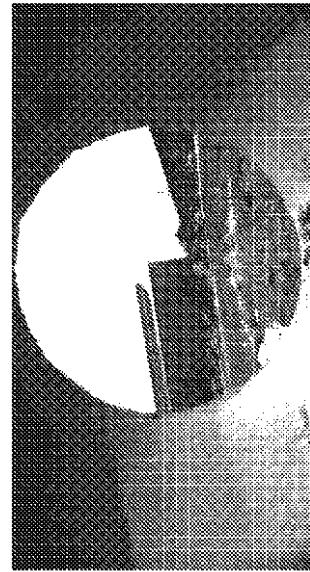


FIG. 13A

【図 13 B】

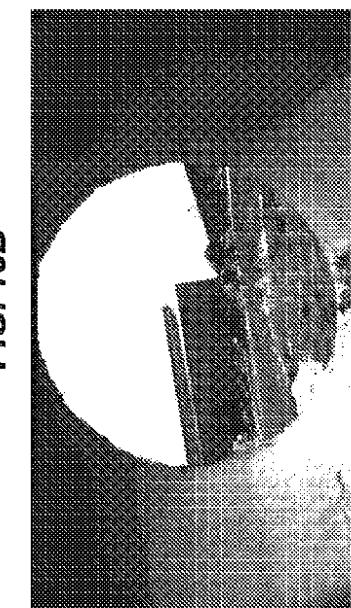


FIG. 13B

【図 13 C】

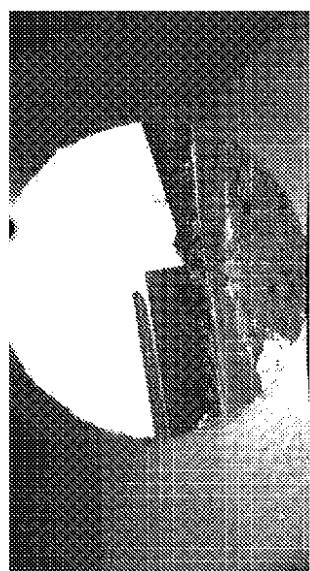


FIG. 13C

【図 13 D】

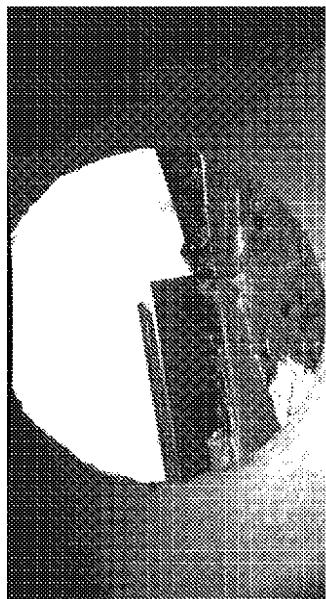


FIG. 13D

【図 14 A】

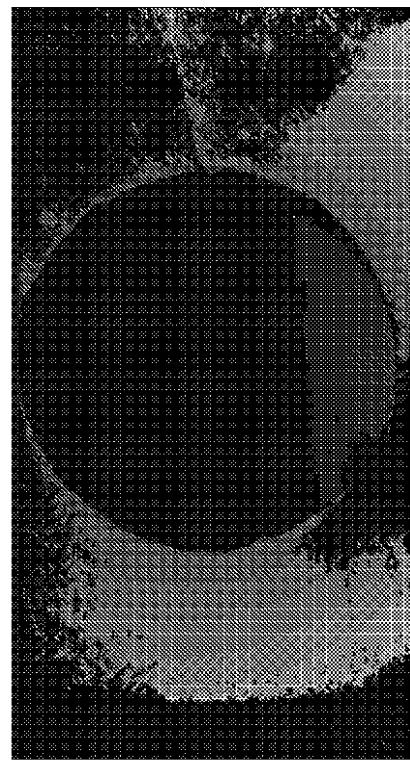


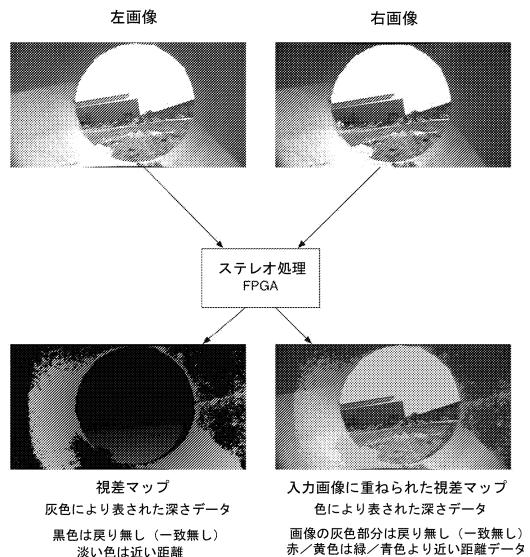
FIG. 14A

【図 14 B】

FIG. 14B

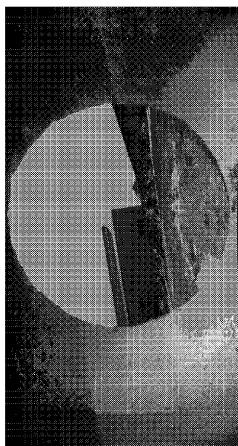


【図 15】

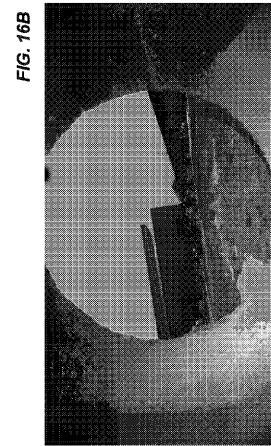


【図 16 A】

FIG. 16A



【図 16 B】



【図 17A】

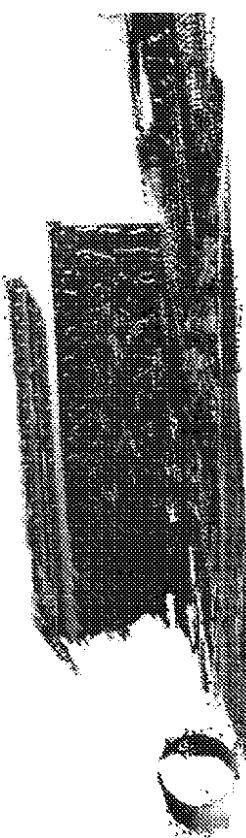


FIG. 17A

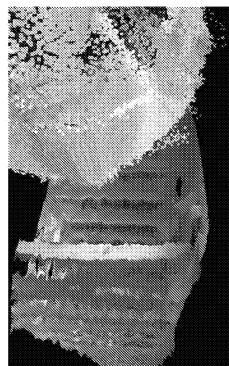
【図 17B】



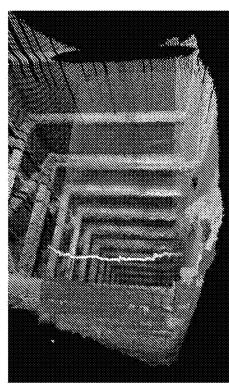
FIG. 17B

【図 18】

ステレオデータが有効な間、
レーザホイントクラウド
は煙で乱される



A



B

フロントページの続き

(72)発明者 ストローザー, ダニエル リーランド

アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 15201 ピツツバーグ フォーティシックスス ストリート 265

(72)発明者 ラローズ, デイヴィッド アーサー

アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 15206 ピツツバーグ エヌ ネグリー アヴェニュー 910

審査官 櫻井 仁

(56)参考文献 特開2011-123078 (JP, A)

特開平09-326032 (JP, A)

特開2001-088623 (JP, A)

特開2005-024463 (JP, A)

米国特許出願公開第2002/0135468 (US, A1)

米国特許出願公開第2011/0050855 (US, A1)

特開平09-163197 (JP, A)

特表2014-503408 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30

G01C 3/06