

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6525459号
(P6525459)

(45) 発行日 令和1年6月5日(2019.6.5)

(24) 登録日 令和1年5月17日(2019.5.17)

(51) Int.Cl. F 1
G 0 6 T 7 / 0 0 (2017.01) G O 6 T 7 / 0 0 C

請求項の数 20 外国語出願 (全 20 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2017-143110 (P2017-143110) (22) 出願日 平成29年7月24日 (2017.7.24) (65) 公開番号 特開2018-55675 (P2018-55675A) (43) 公開日 平成30年4月5日 (2018.4.5) 審査請求日 平成29年7月24日 (2017.7.24) (31) 優先権主張番号 62/369,709 (32) 優先日 平成28年8月1日 (2016.8.1) (33) 優先権主張国 米国 (US) (31) 優先権主張番号 15/654,793 (32) 優先日 平成29年7月20日 (2017.7.20) (33) 優先権主張国 米国 (US)</p>	<p>(73) 特許権者 504382671 コグネックス・コーポレーション アメリカ合衆国マサチューセッツ州 O 1 7 6 0, ナティック, ワン ビジョン ド ライブ (74) 代理人 100119378 弁理士 栗原 弘幸 (72) 発明者 アンドリュウ ヘルシャー アメリカ合衆国マサチューセッツ州 O 2 1 4 3 サマーヴィル オックスフォードスト リート 8 6 (72) 発明者 アーロン エス. ウォラック アメリカ合衆国マサチューセッツ州 O 1 7 6 0 ナティック ペナクックレーン 9</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3D画像データにおける3Dポーズの改良されたスコアリング及び偽ポイント除去のためのシステム及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ビジョンシステムにおいて実行時3Dポイントクラウドの3Dアライメントポーズが訓練されたモデル3Dポイントクラウドに対して一致する程度を推定するための方法であって、

上記方法は、訓練されたモデル3Dポイントクラウドに対する実行時3Dポイントクラウドの候補ポーズの一致をビジョンシステムプロセッサでスコアリングするステップを有し、当該ステップは可視性チェックの提供を含み、前記可視性チェックは、

- (a) 3Dカメラの光学中心を受け取り、
- (b) 訓練されたモデル3Dポイントクラウドを受け取り、
- (c) 実行時3Dポイントクラウドを受け取り、そして
- (d) 実行時候補ポーズで訓練されたモデル3Dポイントクラウド又は実行時3Dポイントクラウドにおける複数の3Dポイントに対する光学中心から複数の線分を構成することを含み、

前記方法は、それぞれの線分に沿った3Dポイントの位置に基づいて、前記スコアリングするステップで3Dポイントを排除するか又は包含するかを決定するステップを有する、
上記方法。

【請求項2】

更に、実行時3Dポイントクラウド候補ポーズで訓練されたモデル3Dポイントクラウ

ドのビューを明確にレンダリングしない自己遮蔽 3 D ポイント情報の考慮を制限することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記スコアリングするステップは、(a) 包含された 3 D ポイントの合計を定義するカバレッジスコアを計算すること、及び(b) 排除された実行時 3 D ポイントの合計を定義するクラッタスコアを計算することの少なくとも 1 つを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

包含された 3 D ポイントの合計を定義するステップは、ポイント・ツー・プレーンメトリック、ポイント・ツー・ラインメトリック及びポイント・ツー・ポイントメトリックの少なくとも 1 つを用いることを含む、請求項 3 に記載の方法。

10

【請求項 5】

下記(a) 及び(b) の少なくとも 1 つが為されることを特徴とし、(a) は前記スコアリングするステップは可視性チェックを漸進的に作動させることであり、前記(b) は前記可視性チェックはレンジ画像に基づいて実行されることである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記可視性チェックは、3 D ポイントが(a) 近接テスト及び(b) ポイント対表面メッシュテストの少なくとも 1 つに基づいて可視であるかテストすることによって実行される、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

20

前記 3 D カメラは、ビジョンシステムプロセッサと相互接続された複数の 3 D カメラを有する 3 D カメラアセンブリの部分である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記実行時 3 D ポイントクラウドは、少なくとも 2 台の 3 D カメラによって撮像されたオブジェクトから取得され、その際にオブジェクトの部分は少なくとも 2 台の 3 D カメラの各々の動作範囲内で撮像される、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記実行時 3 D ポイントクラウドは、3 D カメラの動作範囲内で自己遮蔽されたオブジェクトから取得される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

30

ビジョンシステムにおいて実行時 3 D ポイントクラウドの 3 D アライメントポーズが訓練されたモデル 3 D ポイントクラウドに対して一致する程度を推定するためのシステムであって、

上記システムは、訓練されたモデル 3 D ポイントクラウドに対する実行時 3 D ポイントクラウドの候補ポーズの一致を、ビジョンシステムプロセッサ内で動作する、スコアリングプロセスを有し、当該プロセスは可視性チェックプロセスを含み、前記可視性チェックプロセスは、

- (a) 3 D カメラの光学中心を受け取り、
- (b) 訓練されたモデル 3 D ポイントクラウドを受け取り、
- (c) 実行時 3 D ポイントクラウドを受け取り、そして
- (d) 実行時候補ポーズで訓練されたモデル 3 D ポイントクラウド又は実行時 3 D

40

ポイントクラウドにおける複数の 3 D ポイントに対する光学中心から複数の線分を構成するように、アレンジされており、

前記システムは、それぞれの線分に沿った 3 D ポイントの位置に基づいて、3 D ポイントを排除するか又は包含するかを決定するプロセスを有する、上記システム。

【請求項 11】

スコアリングプロセスは、(a) 包含された 3 D ポイントの合計を定義するカバレッジスコアを計算し、及び(b) 排除された実行時 3 D ポイントの合計を定義するクラッタスコアを計算するように構成された、請求項 10 に記載のシステム。

50

【請求項 1 2】

下記 (a) 及び (b) の少なくとも 1 つが為されることを特徴とし、(a) は前記スコアリングプロセスは可視性チェックが漸進的に作動するよう構成されることであり、前記 (b) は前記可視性チェックプロセスはレンジ画像に基づいて実行されることである、請求項 1 0 に記載のシステム。

【請求項 1 3】

可視性チェックプロセスは、3 D ポイントが、(a) 近接テスト及び (b) ポイント対表面メッシュテストの少なくとも 1 つに基づいて可視であるかテストすることによって実行される、請求項 1 2 に記載のシステム。

【請求項 1 4】

前記テストは、SIMD マシン加速ハードウェアによって実行される、請求項 1 3 に記載のシステム。

【請求項 1 5】

3 D カメラは、ビジョンシステムプロセッサと相互接続された複数の 3 D カメラを有する 3 D カメラアセンブリの一部である、請求項 1 0 に記載のシステム。

【請求項 1 6】

実行時 3 D ポイントクラウドは、少なくとも 2 台の 3 D カメラによって撮像されたオブジェクトから取得され、その際にオブジェクトの部分は少なくとも 2 台の 3 D カメラの各々の動作範囲内で撮像される、請求項 1 5 に記載のシステム。

【請求項 1 7】

オブジェクトの 3 D 画像から偽ポイントを除くためのシステムであって、それぞれの動作範囲内で複数のそれぞれの視点からオブジェクトの画像を取得するように構成された複数の 3 D カメラと、

可視性プロセスであって、

(a) 複数の 3 D カメラのうち 1 台の 3 D カメラから測定された 3 D ポイントクラウドを受け取り、

(b) 測定された 3 D ポイントクラウドと相対的にオブジェクトに対して推測されたポーズを生成し、及び

(c) オブジェクトを基準にした 3 D カメラの位置と向きに関する情報を使用して 3 D ポイントクラウドのポイントの可視性を決定する、

前記可視性プロセスと、

複数の 3 D カメラからの 3 D ポイントクラウドを、所定の数のポイントクラウドに現れることによって裏付けられないポイントを除くことによって偽ポイントを含め合成 3 D ポイントクラウドに結合する複合ポイントクラウド生成プロセスであって、そのようなポイントは前記可視性プロセスに基づいて可視であると予想される、前記複合ポイントクラウド生成プロセスと、

を有する上記システム。

【請求項 1 8】

前記可視性プロセスは、3 D カメラのそれぞれの測定された位置と、3 D カメラを基準にして測定された 3 D ポイントクラウド内のポイントに対するそれぞれの局所的な面法線とに基づき、請求項 1 7 に記載のシステム。

【請求項 1 9】

前記局所的な面法線は、面法線を包含するポイントに近いポイントに基づいて生成される、請求項 1 8 に記載のシステム。

【請求項 2 0】

前記所定の数のポイントクラウドは、自動的閾値又はユーザ定義閾値によって定義される、請求項 1 7 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

10

20

30

40

50

関連出願

本出願は2016年1月8日に出願された「ビジョンシステムにおいて部分ビュー及び自己遮蔽が存在する場合の3Dポーズの改良されたスコアリングのためのシステム及び方法」と題する同時係属米国特許仮出願第62/369,709号の利益を主張するものであり、その教示内容は参照により本明細書に組み込まれる。

【0002】

技術分野

本発明はマシンビジョンシステムに係り、より具体的には訓練された3Dパターンを基準にして3次元(3D)画像特徴を特定してアライメントするビジョンシステムに関する。

10

【背景技術】

【0003】

本明細書で「ビジョンシステム」とも呼ばれるマシンビジョンシステムは、製造環境において多様なタスクを実行するために使用される。一般にビジョンシステムは、製造中のオブジェクトを包含するシーンのグレースケール、カラー画像及び/又は3次元(3D)画像を取得するセンサ(又は「イメージャ」)を備えた1つ以上のカメラアセンブリからなる。オブジェクトの画像を解析してデータ/情報をユーザ及び関連する製造工程に提供することができる。カメラによって生み出されるデータは通常ビジョンシステムにより1つ以上のビジョンシステムプロセッサで解析及び処理することができ、ビジョンシステムプロセッサは専用に製造されたものであるか、或いは汎用コンピュータ(例えばPC、ラップトップ、タブレット又はスマートフォン)内で作成される1以上のソフトウェアアプリケーションの一部であってよい。

20

【0004】

ビジョンシステムの共通タスクは、アライメントと検査を含む。アライメントタスクにおいてビジョンシステムツール、例えばコグネックス社(マサチューセッツ州ネイティック)から市販されている周知のPatMax(登録商標)システムは、あるシーンの2次元(2D)画像内の特徴を(実際のモデル又は合成モデルを用いて)訓練された2Dパターンと比較して、2D撮像されたシーン内の2Dパターンの存在/欠如及びポーズを決定する。この情報は後続の検査(又は他の)操作に使用して欠陥を探し及び/又は部品拒否など他の操作を行うことができる。

30

【0005】

ビジョンシステムを用いる特定のタスクは、実行時に訓練された3Dモデル形状に基づいて3次元(3D)ターゲット形状をアライメントすることである。3Dカメラは多様な技術、例えばレーザ変位センサ(プロファイラ)、立体カメラ、ソナー、レーザ又はLIDARレンジ検出カメラ、Tカメラの、及びその他の多様な受動的及び能動的レンジ検出技術に基づくことができる。そのようなカメラはレンジ画像を生み出し、そこにおいて画像ピクセルの配列(典型的には直交するx軸とy軸に沿った位置として特徴付けられる)が作られ、これはまた各ピクセルに対する第3の次元(高さ)(典型的にはx-y面に対して垂直な軸に沿った位置として特徴付けられる)も含んでいる。或いは、そのようなカメラは撮像されたオブジェクトのポイントクラウド表現を生成できる。ポイントクラウドは、各ポイントiが (X_i, Y_i, Z_i) として表わすことができる空間における3Dポイントの集合体で一部のポイントクラウドは、オブジェクトの背面及び側面、頂面と底面を含む完全な3Dオブジェクトを表現できる。3Dポイント (X_i, Y_i, Z_i) は、オブジェクトがカメラに見える空間内の位置を表す。この表現において空の空間はポイントが存在しないことによって表される。

40

【0006】

比較により、3Dレンジ画像表現 $Z(x, y)$ は2D画像表現 $I(x, y)$ に類似しており、奥行又は高さZは画像内の位置x、yにおける輝度/明度に相当するものにとって代わる。単一の奥行のみが任意のポイント位置x、yと関連しているため、レンジ画像は専ら直接カメラに対面するオブジェクトの正面を表現する。レンジ画像は密な表現である

50

が、カメラによって観察されない(x、 y)位置を表現することはできない。レンジ画像は当業者にとって明白なやり方で3Dポイントクラウドに変換することが可能である。

【0007】

取得された又は合成(例えばCAD)プロセスによって生成されたターゲット画像を(やはり取得又は合成された)モデル画像にアライメントする際に、1つのアプローチは最もよく一致するポーズを見つける努力において3Dポイントクラウドのモデルとの一致/比較を伴う。この比較は、モデルを基準にしたターゲットのカバレッジのスコアリングのためのメトリックを含むことができる。3Dアライメントアルゴリズムに対して、訓練されたモデルが実行時に見られるものより大きい(又はより完全な)部品のビューであるインスタンスがあり、例えば実行時オブジェクト画像の一部が、例えば自己遮蔽のために、視野又はさもなければカットオフの範囲外にあることがある。同様に、実行時シーンがモデルより多くの情報を含むインスタンスがある。例えばモデルと実行時シーンの両方が(それぞれのオブジェクトから)単一のカメラを用いて取得されたが、オブジェクトが各々のバージョンにおいて異なる向きで現れている場合、実行時シーンはモデルにない部品の領域を含むことがあり、その逆もある。アライメントスコアリングメトリックがこれらのシナリオを考慮しなければ、一致が実際に保証するより低いスコアを計算して候補ポーズが拒否される可能性がある。より一般的に、この懸念はソリューションのある段階が顕著な自己遮蔽を有するオブジェクトをアライメントすることであるような応用において、又は訓練時に多数の画像が融合されてオブジェクトの全360度ビューを獲得するが、実行時には唯一の取得されたオブジェクトの画像を使用してアライメントを実行するような応用において存在する。加えて、幾つかの実行時オブジェクト画像又は訓練時オブジェクト画像は画像センサの動作範囲(視野)の和集合の範囲外にあり得る。これらの条件は3Dアライメントアルゴリズムの適用とその結果に多様な仕方で影響し得る。

更に3Dビジョンシステムプロセスに関する懸念は、3D画像センサがオブジェクトの測定を取得するとき、典型的にセンサに対面するオブジェクトの部分のみ測定し、従ってセンサはセンサの測定領域内にあるオブジェクトの部分のみを取得することである。ときどき画像3Dデータは偽の測定又は不正確な測定(場合により相互反射のため)を含んでいる。この不正確なデータ又は偽のデータは測定プロセスの効率及び精度に影響し得る。

【発明の概要】

【0008】

本発明は、3Dポイントクラウドの形式で取得された実行時画像においてオブジェクトが部分的に遮蔽されている場合に、実行時にオブジェクトに対する3Dアライメントの(正確なアライメント結果を見いだす)能力を高めるためのシステム及び方法を提供することによって先行技術の難点を克服する。カメラアセンブリ(即ち1台以上の3Dカメラ)によって生み出される3Dポイントクラウド情報はカメラ光学中心の位置(工場での校正から取得)を含んでおり、そのためクエリポイントとカメラアセンブリを結ぶ線分は知られている。従ってクエリポイントは次のように分類できる。(1)「全面的に可視な」ポイントはカメラアセンブリ内のカメラの動作範囲の和集合内にあり、シーン内に取得システムがこのポイントを観察することを妨げる他のポイントはない。(2)「遮蔽」、ポイントは、カメラアセンブリの動作範囲の和集合内にあるが、シーン内の他のポイントが取得システムがこのポイントを観察することを妨げている。(3)「動作範囲外」、ポイントは特定のカメラの動作範囲の和集合外にあり、そのため取得システムは残余のシーンにかかわらずこのポイントを観察できないであろう。一致を決定するための3Dポイントクラウドのスコアリングは、全面的に可視なポイントのみを考慮し、又は全面的に可視なポイントと関連するカメラの動作範囲外に一部のポイントのみを考慮することによって実行できる。この選択は応用に依じてユーザが行うことができる。遮蔽された動作ポイント又は全面的に可視な動作ポイントを特定することにより、システムは可視性チェック/調整に基づいて3Dアライメントアルゴリズムのカバレッジスコアを修正することが可能となり、その際に一部のポイントはスコアリングアルゴリズムから排除される。

【0009】

例示的な実施形態において、ビジョンシステムにおいて実行時3Dポイントクラウドの3Dアライメントポーズが訓練されたモデル3Dポイントクラウドに対して一致する程度を推定するためのシステム及び方法が提供される。このシステム及び方法は、訓練されたモデル3Dポイントクラウドに対する実行時3Dポイントクラウドの候補ポーズの一致をビジョンシステムプロセッサでスコアリングすることを含み、可視性チェックを提供することを含んでいる。この可視性チェックは、(a)3Dカメラの光学中心を受け取り、(b)訓練されたモデル3Dポイントクラウドを受け取り、(c)実行時3Dポイントクラウドを受け取り、及び(d)実行時候補ポーズで訓練されたモデル3Dポイントクラウド又は実行時3Dポイントクラウドにおける複数の3Dポイントに対する光学中心から複数の線分を構成することからなる。これによりシステム及び方法は、それぞれの線分に沿った3Dポイントの位置に基づいて、スコアリングのステップで3Dポイントを排除するか又は包含するかを決定する。例示的に、スコアリングは、(a)包含された3Dポイントの合計を定義するカバレッジスコアを計算すること(例えばポイント・ツー・プレーンメトリック、ポイント・ツー・ラインメトリック及びポイント・ツー・ポイントメトリックのいずれかをを用いる)、及び(b)排除された実行時3Dポイントの合計を定義するクラッタスコアを計算することの少なくとも1つを含むことができ、スコアリングは可視性チェックを漸進的に操作することを含む。可視性チェックは、3Dポイントが近接テストに基づいて可視であるかテストすることによって実行できる。代替的に、可視性チェックは、3Dポイントがポイント対表面メッシュテストに基づいて可視であるかテストすることによって実行できる。例示的に、テストはSIMDマシン加速ハードウェア(即ち隠線除去グラフィック)で実行できる。可視性チェックはレンジ画像に基づいて実行できる。3Dカメラは、ビジョンシステムプロセッサと相互接続された複数の3Dカメラを有する3Dカメラアセンブリの部分であることができる。実行時3Dポイントクラウドは、少なくとも2台の3Dカメラによって撮像されたオブジェクトから取得でき、その際にオブジェクトの部分は少なくとも2台の3Dカメラの各々の動作範囲内で撮像される。実行時3Dポイントクラウドは、3Dカメラの動作範囲内で自己遮蔽されたオブジェクトからも取得できる。

【0010】

他の実施形態において、システム及び方法は、オブジェクトの多数のビューの測定を結合することを可能にする一方、偽のデータ又は不正確なデータを削除することも提供される。システム及び方法は、多数のポイントクラウドから(多数の3D取得から)の3Dデータ(3Dポイント)を結合して、偽の3Dデータを削除するためにそのようなデータを特定する。操作において、システム及び方法は、センサはシーンの3D測定を特定の相対的ポーズで取得すると仮定する。そのような相対的ポーズはユーザによって供給されるか(部品又はセンサが既知のポーズで位置決めされた場合、例えばロボットとセンサとの間のハンド/アイ校正が既知の場合はロボットが行う)、又は(種々の3D測定における特徴のサブセットを登録することに基づいて)推測され得る。各ビューで生じるすべての3D測定を含むすべてのビューが解析される。システム及び方法は、3Dポイントは3Dセンサに可視であるべきかを決定する予想される可視性ヒューリスティックに基づいて操作する。この予想される可視性ヒューリスティックは、センサの測定領域(全体視野(FOV)の動作範囲と呼ぶ)、並びに各3Dポイントと関連する(一般的に上述した)局所的な面法線に基づいている。

【0011】

例示的な実施形態において、オブジェクトの3D画像から偽ポイントを除去するためのシステム及び方法が提供される。これはそれぞれの動作範囲内で複数のそれぞれの視点からオブジェクトの画像を取得するように構成された複数の3Dカメラを有する。可視性プロセスは、(a)複数の3Dカメラのうち1台の3Dカメラから測定された3Dポイントクラウドを受け取り、(b)測定された3Dポイントクラウドと相対的にオブジェクトに対して推測されたポーズを生成し、及び(c)オブジェクトを基準にした3Dカメラの位置と向きに関する情報を使用して3Dポイントクラウドのポイントの可視性を決定する。

複合ポイントクラウド生成プロセスは、複数の3Dカメラからの3Dポイントクラウドを、所定の数のポイントクラウドに現れることによって裏付けられないポイントを除外することにより偽ポイントを含まない合成3Dポイントクラウドに結合し、そのようなポイントは可視性プロセスに基づいて可視であると予想される。可視性プロセスは、3Dカメラのそれぞれの測定された位置と、3Dカメラを基準にして測定された3Dポイントクラウド内のポイントに対するそれぞれの局所的な面法線とに基づいて生成される。例示的に、局所的な面法線は、面法線を包含するポイントに近いポイントに基づいて生成される。所定の数のポイントクラウドは、自動的閾値又はユーザ定義閾値によっても定義され得る。

【0012】

以下に本発明を添付の図面を参照して説明する。

10

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】訓練時又は実行時に1個以上のオブジェクトの画像を取得し、少なくとも1個の模範的なオブジェクトは部分的に少なくとも1台のカメラの視野外にあり、又はさもなければ隠蔽/遮蔽されており、及び他の模範的なオブジェクトは欠陥があり、又はさもなければ1個以上のオブジェクトは1台以上の3Dカメラアセンブリにおいて偽ポイントを生成する、1台以上の3Dカメラアセンブリを含むビジョンシステムの概念図である。

【0014】

【図2】例示的な実施形態による、実行時オブジェクト3Dポイントクラウドの部分的な遮蔽に対処するための可視性チェック/調整プロセスを含む、訓練されたモデルと実行時オブジェクトの3Dポイントクラウドをアライメントするための模範的な全体手順のフローチャートである。

20

【0015】

【図3】図2の手順による可視性チェック/調整プロセスのフローチャートである。

【0016】

【図4】訓練時に提供され図2の手順に従ってアライメントされるオブジェクトの完全なモデルを包含する模範的な3Dポイントクラウドを示す概念図である。

【0017】

【図5】、訓練されたモデルを基準にしたパターンの部分的な遮蔽を含む、実行時に提供されるオブジェクトの模範的な3Dポイントクラウドの概念図である。

30

【0018】

【図6】モデル3Dポイントクラウドの一部が(実行時部分に対する遮蔽などのために)欠落している、最良一致を定義するための実行時3Dポイントクラウドとモデル3Dポイントクラウドのアライメントされたオーバーラップを示す概念図である。

【0019】

【図7】実行時3Dポイントクラウド上のクエリポイントが全面的に可視であると特定されてカバレッジスコアに含まれる、図3の可視性チェック/調整プロセスを表わす概念図である。

【0020】

【図8】3Dポイントクラウド上のクエリポイントが遮蔽されていると特定されてカバレッジスコアから除かれる、図3の可視性チェック/調整プロセスを表わす概念図である。

40

【0021】

【図9】図3の模範的な可視性チェック/調整プロセスによる、ボクセルグリッド法を用いてクエリポイントを遮蔽されているか又は全面的に可視であるか分類するための技術を表わす概念図である。

【0022】

【図10】シーン上の画像を取得する1台以上の3Dカメラアセンブリの取得された3D画像に偽ポイントが現れる、1台以上のカメラアセンブリを有するビジョンシステム構成の概念図である。

【0023】

50

【図 1 1】図 1 0 の構成で 3 D ポイントクラウド内の偽ポイントを決定して、そのような偽ポイントを含まない複合ポイントクラウドを生成するための全体手順のフローチャートである。

【 0 0 2 4 】

【図 1 2】3 D ポイントクラウドが取得される適用可能な動作範囲を示す、図 1 0 の構成で用いられる模範的な 3 D カメラアセンブリの正面図である。

【 0 0 2 5 】

【図 1 3】図 1 1 の全体手順に従って生成された複合ポイントクラウドにポイントを追加するための手順のより詳細なフローチャートである。

【 0 0 2 6 】

【図 1 4】1 台以上の 3 D カメラによって取得されたオブジェクト（例えばギア）の偽ポイントの発生を示す 3 D ポイントクラウドの 2 D レンダリングに基づく概念図である。及び

【 0 0 2 7 】

【図 1 5】3 D ポイントクラウドから偽ポイントを除去した後の図 1 4 のオブジェクトの 3 D ポイントクラウドの 2 D レンダリングに基づく概念図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 8 】

I . システム概観図

【 0 0 2 9 】

図 1 は、離散的 3 D カメラ 1 2 0、1 2 2 を有する 1 台以上の 3 D ビジョンシステムカメラアセンブリの視野（F O V）の動作範囲内で撮像された、1 個以上のオブジェクト 1 1 0、1 1 2 の特徴の検査及び/又は解析に使用するためのマシンビジョンシステム構成（本明細書では「ビジョンシステム」とも呼ぶ）1 0 0 を示している。本明細書では以下に専ら模範的なカメラ 1 2 0 に言及することに留意されたい。但し、カメラアセンブリ全体は複数の追加のカメラ（例えば仮想線で示すカメラアセンブリ 1 2 2）を含むことができる。各 3 D カメラ（1 2 0、1 3 0）は、コンポーネントの任意の受入れ可能な構成であってよく、典型的に C C D 又は C M O S など任意の受入れ可能な撮像技術に基づいて、それぞれのレンズアセンブリ 1 2 1 と、画像センサ（又は「イメージャ」）S を内蔵したカメラ本体 1 2 4 を含んでいる。イメージャ S は、（例えばカメラの座標系 1 2 8 それぞれの x_i 、 y_i の軸に沿って）1 次元又は 2 次元の画像を画像ピクセルの配列で取得するように構成でき、これらの画像ピクセルはシーンをグレースケール又はカラーで検出するように適合できる。カメラアセンブリ 1 2 0 は更に、各オブジェクト 1 1 0 及び 1 1 2 の表面の 3 D 「レンジ画像」を構成する第 3 の直交次元（例えばそれぞれの z 軸に沿った高さ）を決定するように適合できる。それぞれの画像ピクセルに対して高さデータを生成するために多様な技術を採用できる。代替的に、3 D ビジョンシステムカメラアセンブリは適当なカメラ機能と設定を用いて 3 D ポイントの集合体（ポイントクラウド）を直接取得できる。図 1 に 1 台若しくは 2 台のカメラを示す例に加えて、3 D カメラアセンブリ全体構成でより多くの数の（例えば 3 台以上の）カメラを用いることができ、また本明細書ではオブジェクト表面の 3 D ポイントクラウド又はレンジ画像表現を生成するための 1 台以上の離散的 3 D カメラの全体構成を記述するために代替的に「3 D カメラアセンブリ」という言葉を用いることがあることに留意されたい。

【 0 0 3 0 】

図示されていないが、3 D レンジ画像又はポイントクラウドを生成するために用いられる 3 D カメラアセンブリの 1 つの模範的なタイプはレーザ変位センサである。これはレーザ光の扇形をオブジェクト表面に投影して（例えば x 軸方向に対して横断方向に向けられた）線を形成し、投影された線からレーザ変位センサのイメージャ S で反射光を、扇形照明の平面とそれぞれのイメージャの光学軸 O A との間の相対的角度で受け取る。上述したように、レンジ又は高さ情報を生成するために他の形態も使用でき、これには例えば L I D A R、構造化された照明システム、飛行時間センサ、立体ビジョンシステム（例えば 1

10

20

30

40

50

対の離間したカメラ 1 2 0 及び 1 2 2)、D L P 計測などを含む。これらのシステムはすべてピクセルに高さ値 (例えば z 座標) を与える画像を生成する。

【 0 0 3 1 】

典型的な構成において、3 D カメラ 1 2 0 及び / 又はオブジェクト 1 1 0 は相対的に (例えば 1 台以上のカメラの物理的 y 軸座標方向で) 運動できるので、オブジェクト表面はレーザ変位センサによってスキャンされて、レーザ線の一連の画像が所望された空間の間隔で、典型的には運動情報 1 4 0 をシステムビジョンプロセッサ (1 5 0、以下に説明する) に送るモーションコントローラ及び関連するエンコーダ又は他の運動測定デバイスと連携して (或いは時間ベースの間隔で) 取得される。これに関して、運動方向に沿ったオブジェクト上のポイントの位置は、座標 Y_i として定義される。3 D カメラアセンブリによって取得されるポイント (X_i 、 Y_i 、 Z_i) の集合体は、ポイントクラウドとして定義される。飛行時間センサ 3 D カメラなどを用いる他の実施形態では、相対的運動は必要ない。

10

【 0 0 3 2 】

カメラ本体 1 2 4 は、関連するビジョンプロセスを操作するビジョンシステムプロセッサ 1 5 0 を構成する種々の画像処理コンポーネントを含むことができる。ビジョンプロセッサ 1 5 0 はシーン及び / 又は他のソース (例えばモデルの C A D 表現) の取得された画像に基づく画像データ 1 4 2 上で作動し、ビジョンシステムツール及びプロセス 1 5 2 を用いて取得された画像から情報を抽出できる。この情報は興味のある特徴及び画像内に現れる他のアイテムに関係づけることができる。例えば米国マサチューセッツ州ネイティック市のコグネックス株式会社から市販されている既知の P a t M a x (登録商標) などのビジョンシステムツールを使用して、画像内の 2 D 特徴及び 3 D 特徴を解析して、相対的ポーズ、アライメント及び他のディテール、例えばエッジ、プロブなどに関する情報を提供できる。ビジョンシステムプロセスの一部又は全部をカメラアセンブリ 1 2 0 の本体 1 2 4 内で実行できるが、プロセスの一部又は全部を (有線又は無線で) 相互接続されたコンピューティングデバイス / プロセッサ 1 6 0、例えば適当なユーザインタフェース (マウス / キーボード) 1 6 2 及び / 又はディスプレイ 1 6 4 (例えばタッチスクリーン) を有する専用プロセッサ又は汎用コンピュータ (例えばサーバー、P C、ラップトップ、スマートフォン、タブレットなど) によって実行できることが明確に想定されている。更に、相互接続されたコンピューティングデバイス / プロセッサ 1 6 0 は、オブジェクト / アライメント 1 6 8 について処理された画像情報を用いて、通信リンク 1 6 6 又は他のインタフェース構成を介してユーティライゼーションプロセス若しくはタスクを実行できる。例えばビジョンシステムが検査タスクを実行する場合、これらの情報を用いて品質管理情報をデータベースに送ったり、生産ラインで欠陥品を拒否したりできる。

20

30

【 0 0 3 3 】

訓練プロセス (プロセッサ) 又はモジュール 1 5 4 は、モデルと、実行時 (ターゲット) オブジェクトの実行時 3 D レンジ画像又はポイントクラウド画像から見いだされた特徴とのアライメントを容易にする特徴を定義する 3 D レンジ画像又はポイントクラウドデータからなる 1 つ以上の 3 D モデル / 表現の訓練及び保存を扱う。訓練されたモデルは、オブジェクトの全体ビューで見いだされた特徴、特定のオブジェクト及び / 又は多数のオブジェクトの異なる部分又は向きで見いだされた特徴を包含できる。

40

【 0 0 3 4 】

例示的な実施形態において、ビジョンプロセス及びプロセッサ 1 5 0 は、モデルの特徴と実行時 (ターゲット) 3 D 画像の特徴とのアライメントを試みる適当なアライメントアルゴリズム (又はプロセス) を用いるアライメントプロセス (プロセッサ) 又はモジュール 1 5 6 を含んでいる。アライメントプロセス (プロセッサ) 1 5 6 及び訓練プロセス (プロセッサ) 1 5 4 は、各々 3 D アライメント可視性プロセス (プロセッサ) 又はモジュール 1 5 8 と相互作用し、これは実行時 3 D ポイントクラウドの自己遮蔽ポーズに対する可視性チェックを実行する。

【 0 0 3 5 】

50

更にプロセッサ 150 は偽ポイント除去プロセス (プロセッサ) 159 を含んでいる。これについては以下に説明するが、その機能は一般的にそれぞれの 3D カメラアセンブリ (例えばカメラ 120、122) によって多数の視点から取得されたオブジェクト (例えばオブジェクト 110) の全体 3D ポイントクラウドが、実際のオブジェクトの部分ではない偽ポイント (ノイズ) を含まないようにすることである。

【0036】

II. 部分的に遮蔽されたオブジェクトのアライメント

【0037】

図 2 の手順 200 を参照して、システムはステップ 210 で、典型的にそれぞれ 1 つ以上の 3D ポイントクラウドとして定義される 1 つ以上の 3D 訓練画像を提供する。手順 200 は、実行時シーン内の訓練されたモデルパターンの位置を対象としている。システム及び関連する手順 200 の操作中、複数の候補ポーズが生成される。各候補は、シーン内の訓練されたモデルパターンの可能な位置である。目標は、各々の候補に (非制限的な例として正規化された) 0.0 ~ 1.0 の数値スコア若しくは値を割り当てることであり、ここで 0.0 は可能な限り最悪の一致であり、1.0 は可能な限り最良の一致である。

【0038】

訓練モデル画像は実際のオブジェクトから取得でき、又は合成画像、例えば 1 つ以上の視点からのオブジェクトの CAD 表現として定義できる。一般に、訓練されたモデルパターンは、システムが 3D アライメント手順を実行する間使用される補助データ構造のセットと併せて、ユーザが見つめようとする 3D データ構造 (例えばポイントクラウド) の形式である。この例では、訓練されたモデルパターンは、CAD 又は多数のビューを包含する取得システムのいずれかからオブジェクトの完全なビューを定義する。この模範的なモデル 410 は、図 4 に示されている。

【0039】

ステップ 220 で、手順 200 は 1 つ以上の実行時オブジェクトの画像データを包含する 1 つ以上の実行時 3D ポイントクラウドを取得する。図 1 に示されているように、模範的なオブジェクト 110 及び 112 は各々カメラアセンブリ 120 がアライメント手順に影響を及ぼす可能性のある不完全な画像を撮像するインスタンスを表わす。より具体的には、オブジェクト 110 は全体がカメラの動作範囲 170 (カメラ光学系 121 に向かって上方に細くなるピラミッドとして定義) 内にあるが、実際の欠陥 172 (仮想線で示す) を実行時オブジェクトの欠落部分 174 の形式で含んでいる。検査環境ではそのようなオブジェクトは拒否されよう。反対に、欠陥のない完全なオブジェクト 112 が撮像されると部分的にカメラ 120 の動作範囲外にあるか、又はさもなければ遮蔽されている (動作範囲 170 の境界の外の部分 174)。部分 174 は、カメラ 122 の動作範囲 176 (仮想線で示す) 内にあることに留意されたい。

【0040】

より具体的には、図 5 を参照すると実行時シーンの例が示されている。この画像は、種々異なるポーズで訓練されたパターンに類似したオブジェクト 510 のゼロ以上のインスタンスを包含する別の 3D データ構造を含んでいる。各インスタンスは訓練されたパターンに対して並進及び回転される。この例では、実行時シーンはオブジェクトの単一の (即ち部分的な) ビューである。

【0041】

カメラアセンブリは、そのセットアップの部分として保存された種々の校正パラメータ / 情報を含んでいる。アライメントアルゴリズムは、検出セットアップに関連する情報 (例えば校正情報) を利用できる。これは手順 200 の後続ステップで使用される。

【0042】

手順ステップ 230 で、手順 200 は訓練されたポイントクラウドを基準にして実行時ポイントクラウドのコースアライメント (粗いアライメント) の実行を試みて何らかの可能な候補ポーズの位置を特定する。以下に述べるように、このコースアライメントを用いて、更に別の評価候補ポーズに基づいて精緻化されたアライメントが可能となる。

【 0 0 4 3 】

手順 2 0 0 は、各候補ポーズ対モデルポイントクラウドに対する一致の品質を評価する（ステップ 2 4 0）。この手順ステップは、候補がいかにか良質であるか評価する。この手順は訓練モデル、実行時画像及び校正情報の入力に加えて、パターンを実行時シーンの部分にマッピングする候補ポーズを受け取る。手順はこのシーンの部分はパターンのインスタンスを包含すると仮定し、そのスコアは手順がいかにか強くこの仮定に従っているかの測定結果である。図 5 は、実行時画像 5 1 0 を含んだ可能な候補 6 0 0 をモデルパターン 4 1 0 から欠落した部分 6 1 0 と組み合わせて表わしている。これはモデルの完全なパターンを提示し、従って可能な限り最良の一致を表わしている。そのためこの候補ポーズは高いスコアを受け取ることになる。

10

【 0 0 4 4 】

手順 2 0 0 のステップ 2 5 0 を参照して、スコアは基本的なカバレッジと候補ポーズを得たクラッタスコアを計算し、次いで 2 つのスコアをポーズに対する総スコアに結合することによって生成される。カバレッジスコアは、実行時シーンで可視のパターンの比率である。クラッタスコアは、システムが観察している解析中のパターンインスタンスに隣接するシーンにいかにか多くの「余分な」ノイズがあるかの測定結果である。1 実施形態において、最終的なスコアは次式によって表わされる。

$$\text{スコア} = \text{カバレッジ} - 0.5 * \text{クラッタ}$$

クラッタスコアの計算は、有益な背景情報として 2 0 1 5 年 1 1 月 1 1 日に出願された「ビジョンシステムにおいて 3 D ポイントクラウド一致に使用するクラッタをスコアリングするためのシステム及び方法」と題する同時係属米国特許仮出願第 1 4 / 9 3 8 9 8 号の中で H o n g j u n J i a 他によって論じられており、その教示内容は参照により本明細書に組み込まれる。但し、候補 6 0 0 においては実行時オブジェクト 5 1 0 の一部しか利用できないので、モデルパターン（4 1 0）の大部分（6 1 0）は実行時画像に一致していない。慣用的なスコアリングアルゴリズムでは、一致しないすべての部分 6 1 0 はカバレッジスコアの素朴な定義に算入されない。他方、図示された一致は本質的に完璧なので、単に実行時画像の一部が遮蔽されているという理由でこの候補を減点するのは避けることが望ましいであろう。

20

【 0 0 4 5 】

図 6 に示されたシナリオへの対処を試みるために、手順 2 0 0 はカバレッジ評価（ステップ 2 5 0）において可視性チェック/調整を実行して、実行時画像 5 1 0 で与えられたポイントが全体カバレッジに寄与するかを決定する（手順 2 0 0 のステップ 2 6 0）。可視性チェック/調整を実行するための一般的プロセス 3 0 0 が図 3 に記載されている。プロセスの一部として、ステップ 3 1 0 で提供される校正情報はカメラの光学中心及び動作範囲を含んでいる（図 1 における動作範囲 1 7 0 と光学中心 1 8 0 の表現参照）。これらのパラメータは利用可能なカメラ情報に最初から含まれており（即ち工場校正によって提供される）、従ってプロセスは例示的な実施形態による可視性チェック/調整の決定においてそれらを（訓練されたモデル及び実行時画像 3 D ポイントクラウドと併せて__ステップ 3 2 0）利用する。これらの入力が与えられると、ステップ 3 3 0 でプロセス 3 0 0 は光学中心 1 8 0 から訓練されたモデル 3 D ポイントクラウド又は実行時 3 D ポイントクラウド内の複数のポイントの各々を指す線分を構成する。ステップ 3 4 0 で、プロセス 3 0 0 は実行時候補ポーズで訓練されたモデル 3 D ポイントクラウドのビューの明確なレンダリングのない（を含まない）ポイント情報を考慮することを制限/排除する。この可視性チェック/調整プロセスの操作例が図 7 ~ 図 9 に示されている。

30

40

【 0 0 4 6 】

図 7 には、候補ポーズ 6 0 0 が、カメラ 1 2 0 の光学中心 1 8 0（校正情報から既知）から実行時画像部分 5 1 0 のポイントクラウド上のポイント 7 2 0 に引かれた線分 7 1 0 と共に示されており、このポイント 7 2 0 はカバレッジスコアに寄与する。反対に、図 8 は候補 6 0 0 の遮蔽部分 6 1 0 上のポイントを指す線分 8 1 0 を図示しており、このポイントは当該数学的関係の分子又は分母によるカバレッジスコアに対する寄与から排除され

50

る。この排除は、遮蔽されたポイント 8 2 0 よりカメラ 1 2 0 に近い線分に沿って実行時部分 5 1 0 上に干渉的な遮蔽ポイント 8 3 0 が存在する結果として生じる。

【 0 0 4 7 】

非限定的な例として、カバレッジスコアを計算するためのルーチンの要約は次の通りである。

考慮されるポイント数 = 0 ;

カバーされるポイント数 = 0 ;

パターン内の各ポイントについて

候補ポーズを通してポイントをマッピングする。

マッピングされたポイントが遮蔽されていない場合： [可視性チェック]

考慮されるポイント数 = 考慮されるポイント数 + 1 ;

マッピングされたポイントが実行時シーン内のポイントに近い場合：

カバーされるポイント数 = カバーされるポイント数 + 1

カバレッジスコア = カバーされるポイント数 / 考慮されるポイント数；

ここで、可視性チェックとは、上述したプロセス (3 0 0 及び図 7 ~ 図 8) の実行をいう。

【 0 0 4 8 】

クラッタの全体候補スコアに対する寄与はカバレッジスコア修正と同様のやり方で修正できるので、逆問題 (即ち実行時シーンがパターン内で遮蔽された部分を包含する) が回避されることに留意されたい。そのようなインスタンスにおいて、オブジェクトの完全で実行時画像が存在するならば通常は排除されるであろう候補ポーズ上のポイントを特定して排除するために、光学中心から線分が引かれる。

【 0 0 4 9 】

簡単に要約すると、可視性チェック / 調整を評価するためのステップは、(a) カメラ設定情報、(b) 上述したルーチンから「マッピングされたポイント」を含むクエリポイント、及び (c) 実行時シーンがボクセルグリッドで保持され得る実行時シーンの使用を含んでいる。こらは一連のボクセルによって定義でき、各ボクセルは所定の数のポイントを含むことができる。このボクセルグリッド 9 1 0 は、図 9 に従って表わすことができる。ここに図示されている設定ではカメラ 1 2 0 は上方に配置されているので、ボクセル内の各ポイントは遮蔽の方向 9 4 0 に沿って下方のボクセル内の全ポイントを遮蔽する。こうしてルーチンは、クエリポイント 9 3 0 とカメラ 1 2 0 を結ぶ線分 9 2 0 の任意の部分を含むグリッド 9 1 0 内の全列のボクセルをチェックする。この列内で最も上方のポイントが線の任意のポイントより高い場合は線は実行時シーンを横切るのでクエリポイントは遮蔽されている。そうでない場合は、クエリポイントは遮蔽されていない。従って図 9 に示されている例では、線分 9 2 0 に沿った (実行時部分 5 1 0 を通る) ボクセルの列上のポイントはクエリポイント 9 3 0 を遮蔽する。それゆえルーチンは、クエリポイント 9 3 0 が遮蔽されていることを示す。

【 0 0 5 0 】

定義により、クエリポイントは次の通り分類できる。(1) 全面的に可視であり、ポイントはカメラアセンブリ内のカメラの動作範囲の和集合内にあり、取得システムがこのポイントを観察することを妨げているシーン内の他のポイントはない。(2) 遮蔽されており、ポイントはカメラアセンブリの動作範囲の和集合内にあるが、シーン内の他のポイントは取得システムがこのポイントを観察することを妨げている。(3) 動作範囲外にあり、ポイントは特定のカメラの動作範囲の和集合外にあるので、取得システムは残余のシーンにかかわりなくこのポイントを観察できないであろう。

【 0 0 5 1 】

再び図 2 の全体手順 2 0 0 を参照して、(決定ステップ 2 7 0 により) すべての候補ポーズがスコアリングされるまで、ステップ 2 5 0 とステップ 2 6 0 に従い各候補ポーズのカバレッジスコアが評価及び修正される。次いで (決定ステップ 2 7 0 により) スコアが比較されて、最良のスコア及び / 又は所定の閾値を上回るスコアを有する候補は、アライ

10

20

30

40

50

メント結果としてステップ280に戻される。手順200はカメラアセンブリ全体における各カメラ及び関連する動作範囲に用いられ、及びアライメント結果は必要に応じて結合できることに留意されたい。例示的にカメラアセンブリはすべて（例えばハンドアイ校正技術を用いて）単一のグローバル座標系で校正でき、又は各カメラはそのローカル座標系で作動できる。

【0052】

更に、可視性チェック/調整プロセスは精度及び/又は性能を向上させるために修正できる。例えば上述した可視性プロセスはバッチアプローチを行い、最終的なカバレッジ（及び/又はクラッタ）スコアを決定する前に各ポイントが考慮される。代替的に、漸進的アプローチを用いることができ、（a）多数の候補ポーズに対する訓練されたモデルパターンの1部分を評価し、（b）後続の処理のためにこれらのポーズのサブセットを選択し、（c）パターンの種々異なる部分を考慮する。手順が訓練された全モデルパターンを評価するまで、又は多数の可能な候補ポーズを唯一の可能な候補ポーズに絞るまで、ステップ（a）から（c）を繰り返す。本明細書で用いる「漸進的」又は「漸進的に」という用語は、上述した一般的手順のことをいう。種々の実施形態において、遮蔽を決定するために隠線除去ハードウェア、（例えば）単一命令複数データ（SIMD）マシン加速ハードウェアも使用できる。

【0053】

上述した手順及びその修正は、典型的にグラフィックカードGPU（例えばSIMDマシン）よりも、コンピュータCPU上で動くプログラミング言語の使用を想定していることに留意されたい。プロセスがGPU上で動く場合は、多数のポイントを同時にマッピングでき、可視性チェック/調整を並行してGPU言語で、例えばダイレクトXシェーダ言語（HLSL）又はオープンGLシェーダ言語（GLSL）を用いて実行できることが想定されている。

【0054】

III. 3Dポイントクラウドからの偽ポイント及び/又はノイズの除去

【0055】

再び図1のプロセッサ150を参照して、上述した他のプロセス/プロセッサ及び/又はモジュール152、154、156及び158に加えて偽ポイント除去プロセス（プロセッサ）159が提供される。図10の模範的な構成1000も参照すると、例示的な実施形態は、模範的なオブジェクト1030に対して所定の視点（OA1及びOA2）で向けられた、複数のそれぞれのカメラ1020及び1022から取得された画像データ1010及び1012の結合によって生成される3Dポイントクラウド内の偽ポイントを除去する。図示されているように、模範的なオブジェクト1030は、単純化のために無関係な特徴を除いた直線的な6面形状を画定している。取得された各3Dポイントクラウド1010及び1012は、光学的効果又は他の原因（例えば内部反射）のために追加のポイント/特徴1040、1042を含んでいるが、これらはプロセッサ150によって生成されてアライメントされた全体3Dポイントクラウド1050に融合される。以下に述べるように、この偽の画像データは破線1060及び1062で示されている通り最終バージョンのポイントクラウドから除去（削除）される。図示されていないが、模範的なオブジェクトの全360度ビューを取得して、ポイントクラウドデータを供給するように複数のカメラを配置できることが想定されており、これらのデータはプロセッサによって撮像されたオブジェクトの全体3Dポイントクラウド表現に結合できる。

【0056】

図11は、訓練中又は実行時に使用するオブジェクトの複数の3D登録画像から、偽ポイントを除外する複合ポイントクラウドを生成するための全体手順1100を示すフローチャートを示している。ステップ1110で、システムは3Dカメラセンサから複数の向き/視点の各々でオブジェクトの1つ以上の3D画像を取得し、この画像データがシステムプロセッサ及び関連するビジョンシステムプロセスに3Dポイントクラウドデータとして提供される。ステップ1120で、システムは各カメラの位置/向きについての情報を

10

20

30

40

50

提供する。この情報は、校正中決定されたグローバル座標系内の相対的光学軸角度、及び他のカメラからの相対的距離、及びノ又は座標系内の基準点として定義され得る。焦点距離など他のパラメータも提供することができる。更に以下に述べるように、この情報はポイント可視性の決定を支援するために使用される。

【 0 0 5 7 】

ステップ 1 1 3 0 で、システムは 3 D ポイントクラウド及びカメラ位置からの情報を使用してオブジェクトの推定されたポーズを計算する。このポーズ情報 (図 1 0 の 1 0 7 0) は、ビジョンシステムプロセス (プロセッサ) に送られる。従って要約すると、この基本的手順に対する入力は、(a) ポイントクラウド、(b) オブジェクトポーズ、及び (c) センサ情報からなる 1 組のデータセットであり、そのようなデータの各々は (i) 測定されたポイントクラウド、(i i) ポイントクラウドを生じさせるオブジェクトの推定されたポーズ、及び (i i i) 各ポイントについて可視性を計算するためのセンサについての情報を含んでいる。可視性基準は、センサの測定領域を基準にして測定された位置、及びセンサを基準にした (上述の) 局所的な面法線に基づくことができる。次いでこのポイントクラウドから (以下に定義する) 「近傍」ポイントを考慮することによって局所的な面法線を外挿できる。

【 0 0 5 8 】

一般に、また図 1 2 を参照して、模範的なカメラ / センサ構成 1 2 0 0 はシーン 1 2 1 2 の画像を取得する 3 D カメラ / センサ 1 2 1 0 を示しており、光学軸 O A 3 が撮像されるシーン 1 2 1 2 の平面に対して垂直でない結果として一部遠い F O V 1 2 4 0 と近い F O V 1 2 5 0 によって画定された境界を有する広い視野 (F O V) 1 2 3 0 の内部に、小さい動作範囲 1 2 2 0 が画定される。この手順 1 1 0 0 は、カメラ / センサ 1 2 1 0 は特定の相対的ポーズでシーンの 3 D 測定を取得し、及びこの相対的ポーズはユーザによって供給され得る (部品又はセンサが既知のポーズで位置決めされた場合) と仮定する。これは例えば (与えられた運動座標空間における) ロボットとセンサの間のハンドアイ校正が既知であるか、又は (種々の 3 D 測定で特徴のサブセットを登録することに基づいて) 推測される場合にロボットによって行われる。例示的な手順において、各ビューで生じるすべての 3 D 測定を含むすべてのビューは、ビジョンシステムプロセス (プロセッサ) によって解析される。解析における最も主要な操作は、オブジェクト上の 3 D ポイントが特定の 3 D センサに可視であるべきかを決定する予想される可視性ヒューリスティックに基づいている。更に、予想される可視性ヒューリスティックは、センサの測定領域 (即ち動作範囲 1 2 2 0) 、並びに各 3 D ポイントと関連する局所的な面法線に基づいている。

【 0 0 5 9 】

ステップ 1 1 4 0 で、手順 1 1 0 0 は各ポイントクラウド内の確認されたポイントを設定する。これは各ポイントクラウド内のポイントと、センサからプロセッサに供給される登録されたポイントクラウドのグループ全体における他のポイントクラウド内で可視であると予想されるポイントとの比較を伴う。この可視性決定は、図 1 3 の手順 1 3 1 0 に従って導かれ、これは次のアルゴリズムによって表される。

ポイントクラウドからの各ポイント p について

P がそのポイントクラウド内で可視であれば (これは特に p が偽である場合には常に該当するわけではない) 、 p が可視であると予想されるすべての他の登録された (アライメントされた) ポイントクラウド C i と比較する (ステップ 1 3 1 0) 。

C i 内に p に十分近い対応するポイント p i があるか決定し、C i 内に対応するポイント p i がある場合は、C i は (p に関して) 可視であると規定する (ステップ 1 3 2 0) 。

p が可視であるポイントクラウド C i の比率、即ち $|\text{可視}(\{C_i\})| / |\{C_i\}|$ が閾値 T を超えると (決定ステップ 1 3 3 0) 、次いで複合ポイントクラウドに p を追加する (ステップ 1 3 4 0) 。そうでない場合はポイント p を偽とマークして複合ポイントクラウドから除外する (1 3 5 0) 。

【 0 0 6 0 】

10

20

30

40

50

次の点に留意されたい。(1)面法線(ない場合)はソースポイントクラウドについて計算されて可視性手順に対して使用される(1300)、(2)複合ポイントクラウドは第1のソースポイントクラウドのクライアント3D From Point Cloud 3D変換をコピーする。及び(3)センサ情報(最初のソースポイントクラウドで提供される場合)は適当に複合ポイントクラウドに包含される(これは最初のSensor 3D From Geometry 3D変換を更新して、クライアント3D From Point Cloud 3D変換は各ソースポイントから複合ポイントクラウドに変化するという事実を反映することを伴う)。

【0061】

このヒューリスティックは次の2つのパラメータを有する。(1)(最初のポイントpとこれに対応する他のクラウドCi内の変換されたポイントpiとの)距離誤差、及び(2)可視性比率閾値T、即ち複合ポイントクラウドに包含されるためには予想される可視ポイントが見られなければならないすべてのクラウドの比率。閾値Tは種々のパラメータ又は特性、例えばセンサの数、露出レベルなどに基づいて自動的に設定される。代替的に、閾値Tはビジョンシステムソフトウェアアプリケーション内でユーザインタフェースを用いて設定できる。

【0062】

次いで主要な手順1100は、ステップ1150で多数の登録されたポイントクラウドから、(それぞれのポイントクラウド内で)すべての確認されたポイントを連結させる複合ポイントクラウドを計算する。そのようなポイントは、ポイントが可視であると予想される他のポイントクラウド内で可視であれば確認されている。次いで手順1100はステップ1160で、偽ポイントが除去/除外された複合ポイントクラウドを提供する。これはモデルの生成、又は種々のビジョンシステム解析プロセス、例えばアライメント、検査、ロボットガイダンスなどの実行に使用するための正確な3D表現オブジェクトを利用可能にする。

【0063】

図14のスクリーンディスプレイを参照すると、これは複数の3Dポイントクラウド生成センサによって取得されたオブジェクト(例えばギア)の画像1400を示している。画像1400は、1つ以上のポイントクラウド内の偽ポイントの結果としてノイズを含んでいる。反対に、ここに記載された模範的な実施形態による除去手順を適用することにより、その結果として図15の画像1500が生成される。偽ポイント/ノイズが少なければ少ないほどエッジは鮮明で明確に現れることに留意されたい。

【0064】

図示されていないが、カメラ/センサはオブジェクトの全360度を撮像するように組み付け得ることは明白であろう。オブジェクトの完全なカバレッジを保証するためにFOV及び/又は動作範囲はオーバーラップできる。適当な照明も提供され得る。

【0065】

上述したアライメントシステム及び方法が、自己遮蔽が存在する場合にモデル3Dポイントクラウドと実行時3Dポイントクラウドアライメントするための効果的な技術を提供することは明白であろう。このシステム及び方法は、実行時オブジェクトの全面的に可視のビューを含む又は含まない複数のカメラ及び関連する動作範囲で使用できる。このシステム及び方法は、多様な処理プラットフォームで作動するように適合されている。同様に、オブジェクトの3D画像を生成するための効果的な技術も本明細書中に記載されている。この技術は複数のポイントクラウド内で予想される可視ポイントと比較することにより偽ポイントの形式のノイズを効果的に除去して、それらが十分な数のそのようなポイントクラウドに現れないように削除する。

【0066】

以上、本発明の例示的な実施形態を詳細に説明した。本発明の精神と範囲を逸脱することなく種々の改変及び追加を行うことができる。上述した種々の実施形態の各々の特徴は、関連する新しい実施形態において多数の特徴の組み合わせを提供するのに適する限り、

10

20

30

40

50

別の記載された実施形態の特徴と組み合わせられてよい。更に、上に本発明の装置と方法の多数の別個の実施形態を記したが、ここに記載されたものは本発明の原理の応用を例示したものに過ぎない。例えば、本明細書で使用される様々な方向及び/又は向きを表わす用語、例えば、「垂直」、「水平」、「上」、「下」、「底部」、「頂部」、「側部」、「前部」、「後部」、「左」、「右」、「前方」、「後方」及びこれに類するものは、相対的な表現法として用いられているに過ぎず、重力の作用方向など固定した座標系を基準とした絶対的な向きを表わすものではない。更に、図示されたプロセス又はプロセッサは他のプロセス及び/又はプロセッサと組み合わせ、又は種々のサブプロセス又はサブプロセッサに分割されてよい。そのようなサブプロセス及び/又はサブプロセッサは、本明細書に記載された実施形態に従って多様に組み合わせることができる。同様に、本明細書中の何らかの機能、プロセス及び/又はプロセッサは、プログラム命令の非一時的コンピュータ可読媒体からなる電子ハードウェア、ソフトウェア、或いはハードウェアとソフトウェアの組み合わせを用いて実施できることが明確に想定されている。従ってこの説明は例示の方法によるものとしてのみ受け取られるべきであり、それ以外に本発明の範囲を制限することを意味するものではない。

10

【0067】

以下に特許請求の範囲を記載する。

【図1】

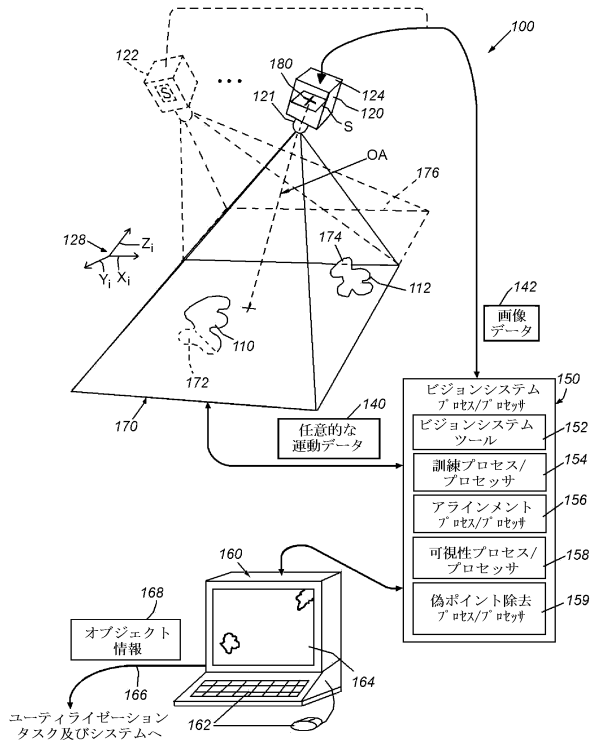


Fig. 1

【図2】

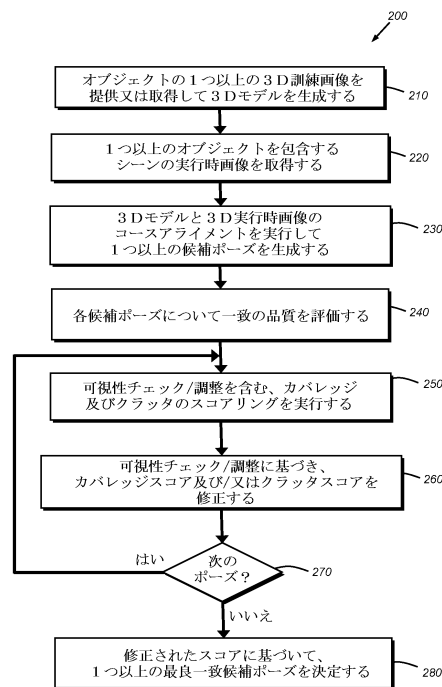


Fig. 2

【図3】

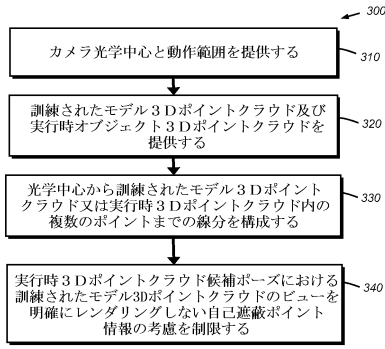


Fig. 3

【図4】

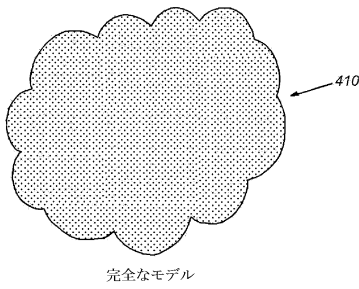


Fig. 4

【図5】

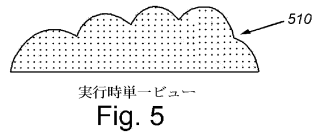


Fig. 5

【図6】

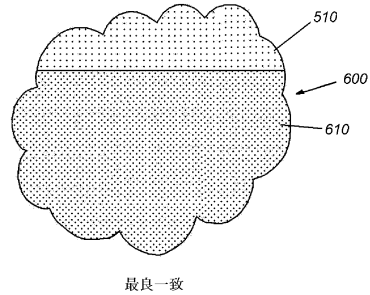


Fig. 6

【図7】

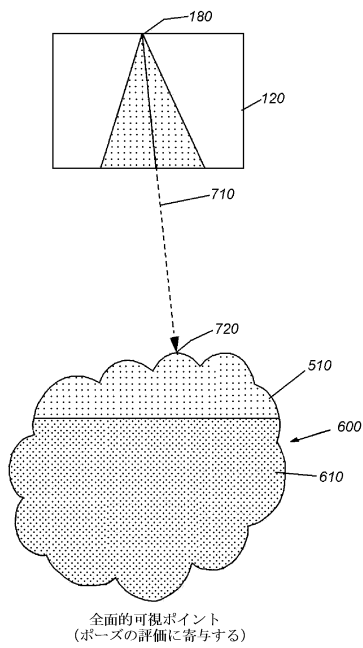


Fig. 7

【図8】

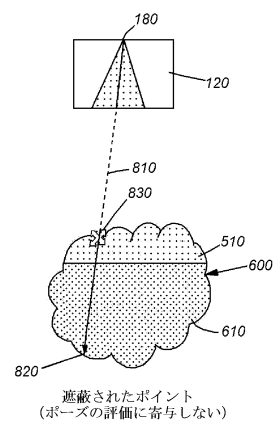


Fig. 8

【図9】

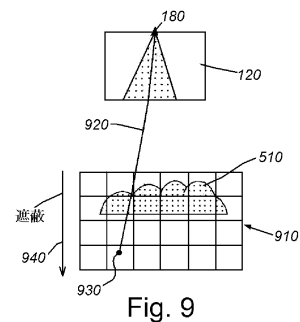


Fig. 9

【図10】

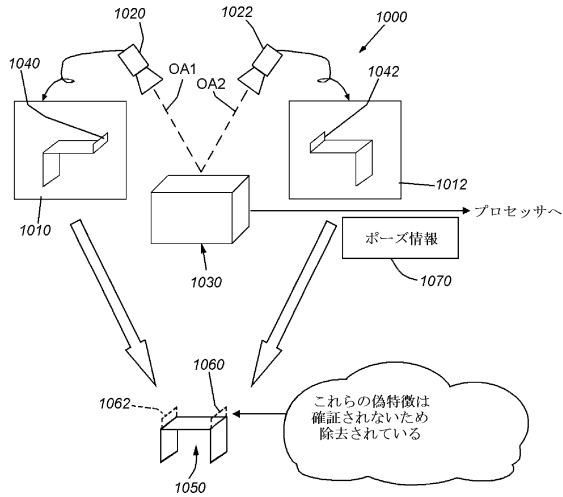


Fig. 10

【図11】

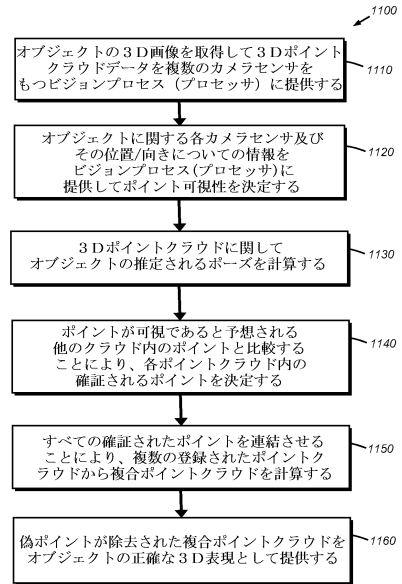


Fig. 11

【図12】

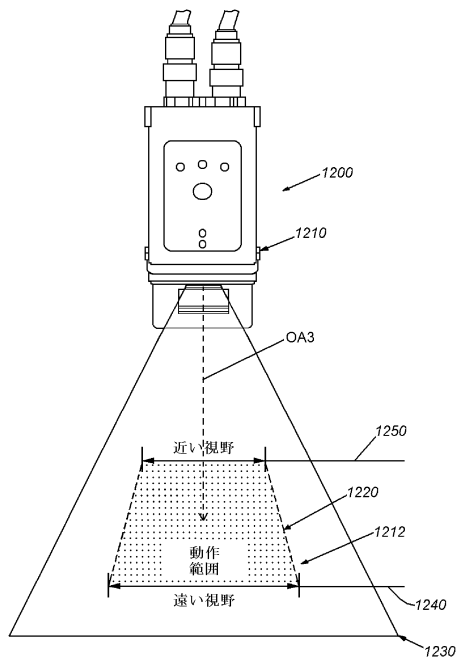


Fig. 12

【図13】

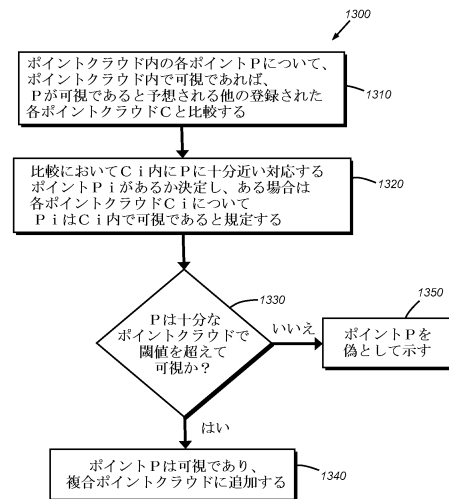


Fig. 13

【 14 】

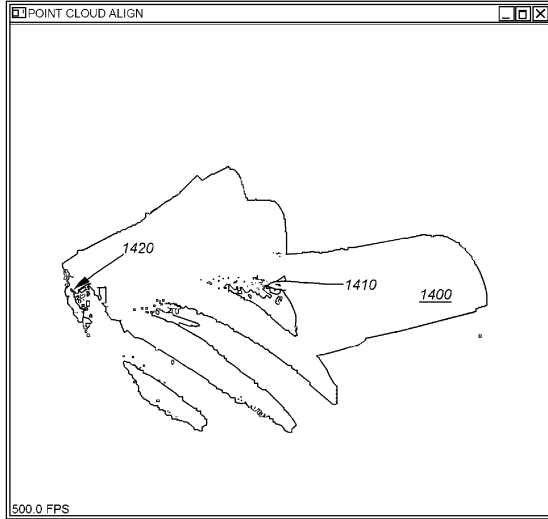


Fig. 14

【 15 】

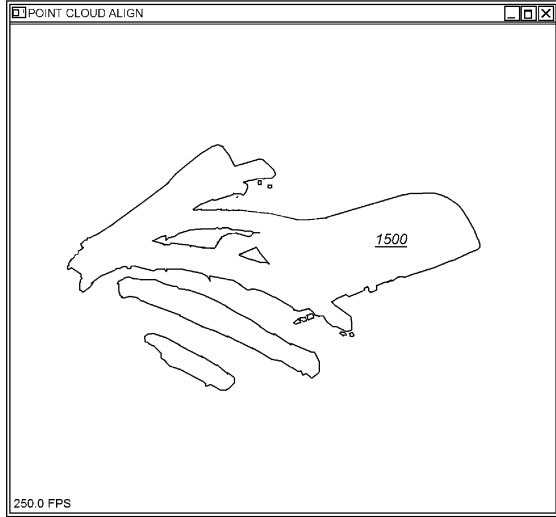


Fig. 15

フロントページの続き

- (72)発明者 アダム ワグマン
アメリカ合衆国マサチューセッツ州01775ストー ノースショアドライブ115
- (72)発明者 デイヴィッド ジェイ・マイケル
アメリカ合衆国マサチューセッツ州01778ウェイランド ドレイパーロード47
- (72)発明者 ホンジュン ジャ
アメリカ合衆国マサチューセッツ州01748ホプキントン オータムリッジドライブ27

審査官 川 崎 博章

- (56)参考文献 特開2007-322351(JP,A)
特開2009-025225(JP,A)
特開2015-197312(JP,A)
特開2007-271408(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G06T 7/00