

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5975685号
(P5975685)

(45) 発行日 平成28年8月23日 (2016. 8. 23)

(24) 登録日 平成28年7月29日 (2016. 7. 29)

(51) Int. Cl. F I
B 2 5 J 13/08 (2006. 01) B 2 5 J 13/08 A
G 0 6 T 1/00 (2006. 01) G 0 6 T 1/00 3 1 5

請求項の数 17 (全 33 頁)

(21) 出願番号	特願2012-53685 (P2012-53685)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成24年3月9日 (2012. 3. 9)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2013-184278 (P2013-184278A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成25年9月19日 (2013. 9. 19)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	平成27年2月9日 (2015. 2. 9)		弁理士 大塚 康德
		(74) 代理人	100112508
			弁理士 高柳 司郎
		(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175
			弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 情報処理装置、情報処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の対象物体を含む画像に基づいて、ロボットが有する把持部による把持候補となる複数の把持候補対象物体を決定する決定手段と、

前記ロボットを制御して、前記複数の把持候補対象物体のうちの1つを、把持対象物体として前記把持部に把持させる制御手段と、

前記把持部が前記把持対象物体を所定の状態で把持していない場合には、前記複数の把持候補対象物体が存在する領域以外の領域の中から、前記把持対象物体を戻す領域を決定する領域決定手段とを備え、

前記制御手段は、前記ロボットを制御して、前記把持部が把持する把持対象物体を前記決定された領域内に戻させることを特徴とする情報処理装置。

【請求項 2】

複数の対象物体を含む画像に基づいて、ロボットが有する把持部に把持対象物体を把持させる制御手段と、

前記把持部が前記把持対象物体を所定の状態で把持していない場合には、前記複数の対象物体を含む2次元画像の中で規定範囲外の量の画像特徴を有する領域の中から、前記把持対象物体を戻す領域を決定する領域決定手段とを備え、

前記制御手段は、前記ロボットを制御して、前記把持部が把持する把持対象物体を前記決定された領域内に戻させることを特徴とする情報処理装置。

【請求項 3】

複数の対象物体を含む画像に基づいて、ロボットが有する把持部に把持対象物体を把持させる制御手段と、

前記把持部が前記把持対象物体を所定の状態で把持していない場合には、前記複数の対象物体を含む距離画像の中で距離計測状態が不良であることを示す条件を満たす領域の中から、前記把持対象物体を戻す領域を決定する領域決定手段とを備え、

前記制御手段は、前記ロボットを制御して、前記把持部が把持する把持対象物体を前記決定された領域内に戻させることを特徴とする情報処理装置。

【請求項 4】

複数の対象物体を含む画像に基づいて、ロボットが有する把持部に把持対象物体を把持させる制御手段と、

前記把持部が前記把持対象物体を所定の状態で把持していない場合には、前記複数の対象物体を含む距離画像の中で距離の分散が規定値よりも小さい領域の中から、前記把持対象物体を戻す領域を決定する領域決定手段とを備え、

前記制御手段は、前記ロボットを制御して、前記把持部が把持する把持対象物体を前記決定された領域内に戻させることを特徴とする情報処理装置。

【請求項 5】

前記画像は、位置が固定された第 1 のセンサにより取得されることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 6】

更に、

前記把持部が前記把持対象物体を所定の状態で把持しているかを判断する判断手段を備え、

前記判断手段は、前記ロボットに備え付けられた第 2 のセンサにより取得した情報に基づいて前記把持部が前記把持対象物体を所定の状態で把持しているかを判断することを特徴とする請求項 5 に記載の情報処理装置。

【請求項 7】

更に、

前記第 1 のセンサと前記第 2 のセンサとを備えることを特徴とする請求項 6 に記載の情報処理装置。

【請求項 8】

複数の対象物体を含む画像に基づいて、ロボットが有する把持部による把持候補となる複数の把持候補対象物体を決定する決定手段と、

前記ロボットを制御して、前記複数の把持候補対象物体のうちの 1 つを、把持対象物体として前記把持部に把持させ、他の物体に組みつける制御手段と、

前記把持対象物体と前記他の物体との組みつけの状態が所定の状態でない場合に、前記複数の把持候補対象物体が存在する領域以外の領域の中から、前記把持対象物体を戻す領域を決定する領域決定手段とを備え、

前記制御手段は、前記ロボットを制御して、前記把持部が把持する把持対象物体を前記決定された領域内に戻させることを特徴とする情報処理装置。

【請求項 9】

前記画像は、前記ロボットに備え付けられた第 3 のセンサにより取得されることを特徴とする請求項 8 に記載の情報処理装置。

【請求項 10】

更に、

前記組みつけの状態が所定の状態であるか否かを判断する判断手段を備え、

前記判断手段は、位置が固定された第 4 のセンサにより取得した情報に基づいて前記組みつけの状態が所定の状態であるか否かを判断することを特徴とする請求項 9 に記載の情報処理装置。

【請求項 11】

更に、

10

20

30

40

50

前記第3のセンサと前記第4のセンサとを備えることを特徴とする請求項10に記載の情報処理装置。

【請求項12】

複数の対象物体を含む画像に基づいて、ロボットが有する把持部による把持候補となる複数の把持候補対象物体を決定する決定工程と、

前記ロボットを制御して、前記複数の把持候補対象物体のうちの1つを、把持対象物体として前記把持部に把持させる制御工程と、

前記把持部が前記把持対象物体を所定の状態で把持していない場合には、前記複数の把持候補対象物体が存在する領域以外の領域の中から、前記把持対象物体を戻す領域を決定する領域決定工程とを備え、

前記制御工程では、前記ロボットを制御して、前記把持部が把持する把持対象物体を前記決定された領域内に戻させることを特徴とする情報処理方法。

【請求項13】

複数の対象物体を含む画像に基づいて、ロボットが有する把持部に把持対象物体を把持させる制御工程と、

前記把持部が前記把持対象物体を所定の状態で把持していない場合には、前記複数の対象物体を含む2次元画像の中で規定範囲外の量の画像特徴を有する領域の中から、前記把持対象物体を戻す領域を決定する領域決定工程とを備え、

前記制御工程では、前記ロボットを制御して、前記把持部が把持する把持対象物体を前記決定された領域内に戻させることを特徴とする情報処理方法。

【請求項14】

複数の対象物体を含む画像に基づいて、ロボットが有する把持部に把持対象物体を把持させる制御工程と、

前記把持部が前記把持対象物体を所定の状態で把持していない場合には、前記複数の対象物体を含む距離画像の中で距離計測状態が不良であることを示す条件を満たす領域の中から、前記把持対象物体を戻す領域を決定する領域決定工程とを備え、

前記制御工程では、前記ロボットを制御して、前記把持部が把持する把持対象物体を前記決定された領域内に戻させることを特徴とする情報処理方法。

【請求項15】

複数の対象物体を含む画像に基づいて、ロボットが有する把持部に把持対象物体を把持させる制御工程と、

前記把持部が前記把持対象物体を所定の状態で把持していない場合には、前記複数の対象物体を含む距離画像の中で距離の分散が規定値よりも小さい領域の中から、前記把持対象物体を戻す領域を決定する領域決定工程とを備え、

前記制御工程では、前記ロボットを制御して、前記把持部が把持する把持対象物体を前記決定された領域内に戻させることを特徴とする情報処理方法。

【請求項16】

複数の対象物体を含む画像に基づいて、ロボットが有する把持部による把持候補となる複数の把持候補対象物体を決定する決定工程と、

前記ロボットを制御して、前記複数の把持候補対象物体のうちの1つを、把持対象物体として前記把持部に把持させ、他の物体に組みつける制御工程と、

前記把持対象物体と前記他の物体との組みつけの状態が所定の状態でない場合に、前記複数の把持候補対象物体が存在する領域以外の領域の中から、前記把持対象物体を戻す領域を決定する領域決定工程とを備え、

前記制御工程では、前記ロボットを制御して、前記把持部が把持する把持対象物体を前記決定された領域内に戻させることを特徴とする情報処理方法。

【請求項17】

コンピュータを、請求項1乃至11の何れか1項に記載の情報処理装置の各手段として機能させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、対象物体の位置姿勢を求める技術に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年のロボット技術の発展とともに、工業製品の組立のようなこれまで人間が行っていた複雑なタスクをロボットが代わりに行うようになりつつある。このようなロボットは、ハンドなどのエンドエフェクタによって部品をピックして組立を行う。従来より、ピックするための部品の供給は、パーツフィーダと呼ばれる部品1つ1つを並べて供給するための装置を利用したり、あるいはパレット(箱)に部品を様々な姿勢で山積みすることによって行われている。パーツフィーダを利用する場合は、部品1つ1つの位置姿勢が予め決まった状態で供給されるため、ロボットによるピックは比較的容易に行われる。しかしパーツフィーダ装置を用意するためのコストが余計にかかる。また、部品の形状に合わせて異なるパーツフィーダを用意しなければならないこともある。一方、部品を山積みにして供給する場合はパレットに部品を置くだけでよいためコスト増を回避することができる。さらに、近年の少量多品種生産の傾向を受けて、様々な部品へ素早く対応することができる山積み供給に注目が集まっている。

10

【0003】

従来技術である特許文献1では、山積みからのロボットによる部品の把持に失敗した場合、対象部品を把持対象から除外する。把持に失敗した部品を除外することで、再度失敗を繰り返すことを回避することができる。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特許第04226623号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1による方法では、ロボットによる把持に失敗した部品を把持対象から除外するため、把持対象の候補数が減る。山積みされた部品には限りがあるため候補数が減ると効率的に作業を行うことができない。

30

【0006】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、ロボットによる把持あるいは把持した部品の組み付けに失敗した場合、対象部品を元あった状態あるいは把持状態に基づき良い状態で返還する為の技術を提供することを目的とする。そしてこれにより、把持対象の候補を減らさずに効率的な作業を行うことを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の目的を達成するために、例えば、本発明の情報処理装置は、複数の対象物体を含む画像に基づいて、ロボットが有する把持部による把持候補となる複数の把持候補対象物体を決定する決定手段と、

40

前記ロボットを制御して、前記複数の把持候補対象物体のうちの1つを、把持対象物体として前記把持部に把持させる制御手段と、

前記把持部が前記把持対象物体を所定の状態で把持していない場合には、前記複数の把持候補対象物体が存在する領域以外の領域の中から、前記把持対象物体を戻す領域を決定する領域決定手段とを備え、

前記制御手段は、前記ロボットを制御して、前記把持部が把持する把持対象物体を前記決定された領域内に戻させることを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

50

本発明の構成によれば、ロボットによる把持あるいは把持した部品の組み付けに失敗した場合、対象部品を元あった状態あるいは把持状態に基づき良い状態で返還するので、把持対象の候補を減らさずに効率的な作業を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】システムの構成例を示す図。

【図2】ポリゴン要素で構成される3次元幾何モデルについて説明する図。

【図3】CADモデル、CADモデルを取り囲むGeodesic Sphereを示す図。

【図4】システムの動作を示すフローチャート。

10

【図5】エッジ検出を説明する図。

【図6】線分の投影像と検出されたエッジの関係を説明する図。

【図7】撮影画像を示す図。

【図8】撮影画像を示す図。

【図9】撮影画像を示す図。

【図10】返還領域を説明する図。

【図11】システムの構成例を示す図。

【図12】システムの動作を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0010】

20

以下、添付図面を参照し、本発明の好適な実施形態について説明する。なお、以下説明する実施形態は、本発明を具体的に実施した場合の一例を示すもので、特許請求の範囲に記載の構成の具体的な実施例の1つである。

【0011】

[第1の実施形態]

本実施形態では、対象物体に関する2次元情報(2次元画像)と3次元情報(距離画像や3次元点群データを求めるための2次元画像)とを取得するための第1のセンサ(プロジェクタとカメラ)を用いて対象物体が山積みされたパレット内の状態を計測する。本実施形態では、パレット内の状態として、対象物体の位置姿勢を用いる。

【0012】

30

また、ロボットに装着され且つ対象物体の3次元情報(距離画像や3次元点群データを求めるための2次元画像)を取得するための第2のセンサ(プロジェクタとカメラ)を用いてロボットで把持した対象物体の把持状態を計測する。

【0013】

そして、ロボットでの把持に失敗したと判断した場合は、第1のセンサを用いて計測したパレット内の状態や第2のセンサを用いて計測した把持状態に基づいて、対象物体をパレット内に返還する領域を算出する。そして、把持している対象物体を返還領域に返還する指示をロボットに対して行う。ロボットは指示に従って対象物体を返還する。

【0014】

まず、本実施形態に係るシステムの構成例について、図1を用いて説明する。

40

【0015】

ロボット100は、多関節ロボットであり、ロボットコントローラ部120からの制御命令を受けて稼働する。ロボット100の先端にはエンドエフェクタであるハンド部が装着されており、対象物体に対する作業を行うことが可能である。本実施形態では、エンドエフェクタとして対象物体を把持することが可能なチャック機構を持つハンド部を用いる。エンドエフェクタにはモータ駆動可能なハンド部を用いてもよいし、空気圧で対象物体を吸着する吸着パッドを用いてもよい。

【0016】

なお、センサ部101の位置姿勢、ロボット100やハンド部の位置や軌道、ロボット100のアームとセンサ部102の相対位置姿勢のキャリブレーション作業は、公知の技

50

術によって予め行われているものとする。これによって、領域状態計測処理部 1 1 3 が計測するパレット内の状態、把持状態計測処理部 1 1 5 が計測する把持状態を、パレット 1 0 4 が置かれた空間に固定されたワークスペース座標系に変換することが可能になる。また、ワークスペース座標系で指定した位置姿勢にハンド部が移動するようにロボット 1 0 0 を制御することが可能になる。

【 0 0 1 7 】

センサ部 1 0 1 は、プロジェクタと、2次元情報としての2次元画像を撮影するカメラと、を有する。センサ部 1 0 1 は、パレット 1 0 4 の上方に固定的に配置されており、山積みされた対象物体 1 0 3 の画像を撮影し、撮影した画像をセンサ情報取得部 1 1 1 に対して出力する。本実施形態では、センサ部 1 0 1 で撮影した画像は画像処理部 1 1 0 で処理するが、センサ部 1 0 1 内に画像処理機構を持たせて画像処理した結果を出力してもよい。センサ部 1 0 1 のプロジェクタとカメラとの相対的な位置関係は予めキャリブレーションにより求まっているものとする。

10

【 0 0 1 8 】

センサ部 1 0 1 のプロジェクタは、対象物体 1 0 3 に対して規定のパターン像（パターン光）を照射（投影）し、パターン像が投影された対象物体 1 0 3 をセンサ部 1 0 1 のカメラにより撮影し、撮影した画像をセンサ情報取得部 1 1 1 に出力する。規定のパターン像としては、空間符号化法の幅の異なる複数の縞模様パターンや、複数の線パターンなどの像を利用する。2次元的なパターンやランダムドットのようなパターンでもよい。撮影された画像は、センサ情報取得部 1 1 1 を経由して領域状態計測処理部 1 1 3 にて三角測量の原理により距離を求めるために用いられる。

20

【 0 0 1 9 】

また、センサ部 1 0 1 のプロジェクタは対象物体に対して均一輝度の光を照射することも可能である。センサ部 1 0 1 のカメラにより均一輝度で照らされた対象物体の画像を撮影し、センサ情報取得部 1 1 1 に対して2次元画像を出力する。

【 0 0 2 0 】

センサ部 1 0 2 は、小型のプロジェクタと、2次元画像を撮影する小型のカメラと、を有する。センサ部 1 0 2 は、ロボット 1 0 0 の各関節の角度によってその位置姿勢が制御可能（変更可能）なハンド部近くに固定的に装着されており、ハンド部が把持している対象物体を撮影する。センサ部 1 0 2 のプロジェクタとカメラとの相対的な位置関係は予めキャリブレーションにより求まっているものとする。本実施形態では、センサ部 1 0 2 で撮影した画像は画像処理部 1 1 0 で処理するが、センサ部 1 0 2 内に画像処理機構を持たせて画像処理した結果を出力してもよい。

30

【 0 0 2 1 】

センサ部 1 0 2 のプロジェクタは、対象物体 1 0 3 に対して規定のパターン像（パターン光）を照射（投影）し、パターン像が投影された対象物体 1 0 3 をセンサ部 1 0 2 のカメラにより撮影し、撮影した画像をセンサ情報取得部 1 1 4 に出力する。規定のパターン像としては、空間符号化法の幅の異なる複数の縞模様パターンや、複数の線パターンなどの像を利用する。2次元的なパターンやランダムドットのようなパターンでもよい。また、センサ部 1 0 2 は、回折格子と照明とカメラとから構成されてもよい。この場合は回折格子と照明により対象物体にパターン光を投射し、カメラによりパターンを撮影する。撮影された画像は、センサ情報取得部 1 1 4 を経由して把持状態計測処理部 1 1 5 にて三角測量の原理により距離を求めるために用いられる。

40

【 0 0 2 2 】

対象物体 1 0 3 は、工業製品を構成する部品である。ロボット 1 0 0 によりピックされて製品に組み付けられる。素材には、プラスチック、金属、ビニールなど、様々なものを用いることができる。対象物体 1 0 3 が様々な姿勢になるようにパレット 1 0 4 に山積みされている。

【 0 0 2 3 】

パレット 1 0 4 は、対象物体 1 0 3 を入れるための箱である。パレットの素材に制約は

50

ないが、プラスチックや紙素材を用いることが多い。また形状にも制約はないが、作りやすさの点から立方体あるいは直方体にすることが多い。大きさにも制約はないが、通常はセンサ部101で計測可能な範囲内に収まるようにする。

【0024】

次に、情報処理装置として機能する画像処理部110について説明する。

【0025】

センサ情報取得部111は、センサ部101が撮影した対象物体103の撮影画像を取得し、該取得した撮影画像を領域状態計測処理部113に対して出力する。センサ部101にはパターン光および均一輝度の光を照射するプロジェクタが備えられており、センサ情報取得部111はパターン光および均一輝度の光が照射された対象物体103の撮影画像を取得する。

10

【0026】

モデル情報保持部112は、領域状態計測処理部113および把持状態計測処理部115で対象物体103の位置姿勢を計測するために利用されるモデル情報を保持する。モデル情報の1つとして、3次元CADに基づく対象物体103の3次元幾何モデルがあげられる。もう1つのモデル情報として、実際の対象物体103もしくは対象物体103を模した3次元幾何モデルを予め定められた複数の視点から見た参照画像の集合である参照画像モデルがあげられる。

【0027】

3次元幾何モデルは、3次元CADソフトで取り扱うことができるCADモデルそのもの、もしくは3次元CADモデルをComputer Graphics分野で使われる複数のポリゴン要素に変換したものである。本実施形態では、ポリゴン要素で構成される3次元幾何モデルを用いる。ポリゴン要素で構成される3次元幾何モデルについて、図2を用いて説明する。

20

【0028】

ポリゴン要素で構成される3次元幾何モデルは、図2に示すような点、線、面といった構成要素からなる。図2(a)~(c)はいずれも同じ3次元幾何モデルを示している。

【0029】

ポリゴン要素で構成される3次元幾何モデルのモデル情報では、図2(a)に例示している3次元幾何モデルの各頂点について、図2(d)に示す如く、該頂点のインデックスと、該頂点の3次元座標値と、を管理している。

30

【0030】

また、このモデル情報では、図2(b)に例示している3次元幾何モデルの各辺について、図2(e)に示す如く、該辺のインデックスと、該辺の両端における頂点のインデックスと、を管理している。

【0031】

また、このモデル情報では、図2(c)に例示している3次元幾何モデルの各面(ポリゴン)について、図2(f)に示す如く、該ポリゴンのインデックスと、該ポリゴンの各辺のインデックスと、該ポリゴンの法線ベクトルと、を管理している。

【0032】

40

参照画像モデルは、複数の2次元画像からなるデータである。実写画像に基づく参照画像モデルは、対象物体103を中心にして様々な方向からカメラで撮影を行って得た画像から作成する。撮影を行うためにやぐらを組んでカメラを複数配置してもよいし、人が手でカメラを持って撮影してもよいし、ロボットに装着したカメラでロボットを動かしながら撮影を行ってもよい。どの方法で撮影を行ってもよいが、撮影したときのカメラと対象物体103との相対位置姿勢を求め、撮影画像と関連付けて記憶しておく。相対位置姿勢は、やぐらに複数のカメラを配置したときは、やぐらの形状から求めることができる。人が手でカメラを持つ場合は、カメラに位置姿勢センサを装着することで、該位置姿勢センサから求めることができる。ロボットに装着したカメラで撮影するときはロボットの制御情報を利用して求めることができる。

50

【0033】

対象物体103を模した3次元幾何モデルに基づく参照画像モデルは、CADモデルの中心から頂点が等しい距離になるGeodesic Sphereを設定し、Geodesic Sphereの頂点からCADモデルの中心を向いたときの画像を用いる。Geodesic Sphereの頂点は複数あり、隣り合ったそれぞれの頂点は同じ距離となる。ある頂点を基準位置として、他の頂点との相対的な関係を元にどの方向から見たかを画像と共に記憶しておく。図3にCADモデルとCADモデルを取り囲むGeodesic Sphereとを示す。Geodesic Sphereの各頂点から中心をみたときの画像の集合を参照画像モデルとする。なお、参照画像モデルは輝度画像でもよいし距離画像でもよい。

10

【0034】

対象物体103が1種類と予め分かっている場合は、その種類のモデル情報だけをモデル情報保持部112に格納しておく。複数種類の対象物体を扱うときは、複数のモデル情報をモデル情報保持部112に格納しておき、利用時に切り替える。

【0035】

領域状態計測処理部113は、センサ情報取得部111から出力された対象物体103の撮影画像と、モデル情報保持部112が保持しているモデル情報と、を用いて、パレット104内の領域状態(領域状態データ)を求める。本実施形態では、対象物体103のうち、ロボット100のハンド部が把持可能な1以上の対象物体(把持候補物体)の位置姿勢を、領域状態データとして求める。

20

【0036】

モデル情報として3次元幾何モデルを利用する場合は、3次元幾何モデルの辺である線と、センサ情報取得部111から出力された撮影画像から抽出したエッジ成分と、の対応付けを行うことで対象物体103の位置姿勢を求める。本実施形態では撮影画像上で、対象物体103のエッジと、3次元幾何モデルにおいて該エッジに対応する部分と、が一致するように3次元幾何モデルの位置姿勢の概略値を反復演算により繰り返し補正する。これにより、該補正結果を、対象物体103の位置姿勢として求める。

【0037】

また、3次元幾何モデルから抽出した表面の点群データと、センサ情報取得部111から出力された2次元のパターン画像から抽出した距離点群との対応付けを行うことで対象物体の位置姿勢を求めることもできる。パターン画像から距離点群を求めるには、空間符号化法、光切断法などの公知技術を用いればよい。本実施形態では詳しく説明しない。求めた距離点群とモデル情報とを利用して対象物体の位置姿勢を求めるために、本実施形態ではICP(Iterative Closest Point)法を用いる。対象物体の位置姿勢を反復演算によって繰り返し補正する。さらに、エッジ対応付けと距離点群対応付けとの両方を考慮して対象物体の位置姿勢を求めることもできる。

30

【0038】

モデル情報として参照画像モデルを利用する場合は、参照画像モデルをテンプレートとし、テンプレートマッチングにより撮影画像と最も一致する参照画像を求め、求めた参照画像に関連付けられている相対位置姿勢を元に対象物体103の位置姿勢を求める。

40

【0039】

そして領域状態計測処理部113は、1以上の把持候補物体の位置姿勢を、ロボット作業指示部121及び返還領域算出部117に対して出力する。これによりロボット作業指示部121は、この1以上の位置姿勢のうち1つの位置姿勢の把持候補物体をハンド部にて把持させるための指示信号をロボット制御部122に対して送出する。

【0040】

センサ情報取得部114は、センサ部102が撮影した対象物体103の撮影画像を取得し、取得した撮影画像を把持状態計測処理部115に対して出力する。

【0041】

把持状態計測処理部115は、センサ情報取得部114から出力された撮影画像と、モ

50

デル情報保持部 112 が保持しているモデル情報と、を用いて対象物体 103 の位置姿勢を、把持状態（把持状態データ）として求める。

【0042】

モデル情報として3次元幾何モデルを利用する場合は、3次元幾何モデルから抽出した表面の点群データと、センサ情報取得部 114 から出力された撮影画像から抽出した距離点群との対応付けを行うことで対象物体 103 の位置姿勢を求める。上記のパターン像が投影された対象物体 103 の撮影画像から距離点群を求めるためには、空間符号化法、光切断法などの公知技術を用いればよい。求めた距離点群とモデル情報とを利用して対象物体 103 の位置姿勢を求めるために、本実施形態では ICP (Iterative Closest Point) 法を用いる。対象物体 103 の位置姿勢を反復演算によって繰り返して補正する。なお、対象物体 103 の位置姿勢を求めるための手法は ICP 法に限るものではない。

10

【0043】

モデル情報として参照画像モデルを利用する場合は、参照画像モデルをテンプレートとしたテンプレートマッチングにより撮影画像と最も一致する参照画像を求め、その参照画像に関連付けられている相対位置姿勢を元に対象物体 103 の位置姿勢を求める。

【0044】

そして、把持状態計測処理部 115 は、上記のようにして求めた「ハンド部が把持している対象物体の位置姿勢」を、判断部 116 及び返還領域算出部 117 に対して送出手。

20

【0045】

判断部 116 は、ロボット 100（ハンド部）が対象物体を把持することに成功しているか否かを判断する。なお、把持が成功しているというのは、その後の既定の作業（例えば組み付け作業）のためにロボット 100 が対象物体を予め定めた位置姿勢で把持できている状態のことを指す。また、把持が失敗しているというのは（ロボット 100 が対象物体を把持しているものの）その後の既定の作業（例えば組み付け作業）のためにロボット 100 が対象物体を予め定めた位置姿勢で把持できていない状態のことを指す。

【0046】

ロボット 100（ハンド部）が対象物体を把持することに成功しているか否かの判断は、次のようにして行う。即ち、把持状態計測処理部 115 で求めた位置姿勢と、ハンド部が対象物体を把持するためにとるべき位置姿勢として予め計算された規定位置姿勢と、の差異が閾値以内であれば、把持が成功したものと判断する。逆に差異が閾値より大きい場合は、把持が失敗したものと判断する。また、把持状態計測処理部 115 での計測そのものが失敗した場合も把持が失敗したものとみなす。

30

【0047】

そして判断部 116 は、把持に成功していると判断した場合は、ロボット作業指示部 121 に対してロボット 100 が既定の作業（例えば組み付け作業）を行うよう指示する。一方、判断部 116 は、把持に失敗していると判断した場合は、対象物体をパレット 104 内に戻すために、返還領域算出部 117 に対して把持が失敗したことを示す情報を出力する。

40

【0048】

返還領域算出部 117 は、判断部 116 からロボット 100 による把持が失敗した旨を示す情報を受けると、領域状態計測処理部 113 や把持状態計測処理部 115 から受けた位置姿勢を用いて、ロボット 100 が対象物体を返還する領域（返還領域）を求める。

【0049】

返還指示部 118 は、ロボット 100 が返還領域内で対象物体を返還すべき位置姿勢を求め、ロボット作業指示部 121 に対してロボット 100 が対象物体をこの位置姿勢でパレット 104 内に返還するよう指示を行う。

【0050】

次にロボットコントローラ部 120 について説明する。

50

【 0 0 5 1 】

ロボット作業指示部 1 2 1 は、領域状態計測処理部 1 1 3、判断部 1 1 6、返還指示部 1 1 8、等が求めた情報に基づいて、ハンド部を移動させる為の指示信号を生成する。例えば、ロボット作業指示部 1 2 1 は、領域状態計測処理部 1 1 3 から対象物体の位置姿勢を受けると、該位置姿勢にある対象物体を把持できる位置姿勢にハンド部を移動させて把持を行うことを指示するための指示信号を生成する。また、判断部 1 1 6 からの指示に応じて、既定の作業（例えば組み付け作業）を行うよう、ハンド部を移動させるための指示信号を生成する。また、返還指示部 1 1 8 からの指示に応じて、ロボット 1 0 0 が把持している対象物体をパレット 1 0 4 内に返還するよう指示するための指示信号を生成する。

【 0 0 5 2 】

なお、ロボットの作業は移動、把持、吸着、組み付けに限られるものではなく、対象物体 1 0 3 の外観検査など、他の作業も含むことは言うまでもない。さらに、ロボットも多関節ロボットではなく NC 制御可能な可動式の機械でもよいことは言うまでもない。

【 0 0 5 3 】

ロボット制御部 1 2 2 は、ロボット作業指示部 1 2 1 から指示信号を受けると、この指示信号に従ってロボット 1 0 0 の動作制御を行う。これによりロボット 1 0 0 のハンド部の位置姿勢を指示信号に応じて移動させることが出来る。

【 0 0 5 4 】

次に、本実施形態に係るシステムの動作について、図 4 のフローチャートを用いて説明する。

【 0 0 5 5 】

ステップ S 4 0 1 では、パレット 1 0 4 の上方に固定されたセンサ部 1 0 1 が対象物体 1 0 3 の画像を撮影し、撮影した画像をセンサ情報取得部 1 1 1 に出力する。センサ部 1 0 1 の位置姿勢は予めキャリブレーションで求まっているものとする。そしてセンサ情報取得部 1 1 1 は、センサ部 1 0 1 から受けた対象物体 1 0 3 の撮影画像を領域状態計測処理部 1 1 3 に対して送出手する。

【 0 0 5 6 】

ステップ S 4 0 2 では、領域状態計測処理部 1 1 3 は、センサ情報取得部 1 1 1 から受けた撮影画像中の複数の対象物体のうち少なくとも 1 つの対象物体の位置姿勢を、パレット 1 0 4 内の領域状態として求める（計測する）。この領域状態は、対象物体をロボットに把持させたり、把持に失敗した対象物体をロボットに返還させたりする際に利用する。

【 0 0 5 7 】

対象物体の位置姿勢を計測する方法として本実施形態では 3 通りの方法を説明する。第 1 の方法として、センサ情報取得部 1 1 1 から出力された均一輝度の光を対象物体に照射した 2 次元画像と、モデル情報保持部 1 1 2 が保持しているモデル情報とをマッチングして対象物体 1 0 3 の位置姿勢を計測する方法を説明する。第 2 の方法として、センサ情報取得部 1 1 1 から出力された 2 次元のパターン画像から抽出した距離点群と、3 次元幾何モデルから抽出した表面の点群データとのマッチングを行うことで対象物体の位置姿勢を求める方法を説明する。第 3 の方法として、エッジ対応付けと距離点群対応付けとの両方を考慮して対象物体の位置姿勢を求める方法について説明する。

【 0 0 5 8 】

まず第 1 の方法である、センサ情報取得部 1 1 1 から出力された均一輝度の光を対象物体に照射した 2 次元画像と、モデル情報保持部 1 1 2 が保持しているモデル情報と、をマッチングして対象物体 1 0 3 の位置姿勢を計測する方法について説明する。

【 0 0 5 9 】

モデル情報として 3 次元幾何モデルを利用する場合は、対象物体の 3 次元幾何モデルの辺である線分と、センサ情報取得部 1 1 1 から出力された撮影画像から抽出したエッジ成分との対応付けを行うことで対象物体の位置姿勢を求める。本実施形態では、撮影画像に 3 次元幾何モデルが当てはまるように、非線形最適化手法の一つである G a u s s - N e w t o n 法を用いて計測対象物体の位置姿勢（6 次元ベクトル s で表す）の概略値を反復

10

20

30

40

50

演算によって繰り返し補正する。なお、対象物体の位置姿勢を求めるための最適化手法は Gauss - Newton 法に限るものではない。

【0060】

図5はエッジ検出を説明する図である。何らかの方法(例えばテンプレートマッチング)により得られた対象物体の概略位置姿勢とキャリブレーション済みのセンサ部101の内部パラメータを用いて、3次元幾何モデルを構成する各線分の画像上への投影像を算出する。線分の投影像は画像上でも線分となる。次に、画像上で等間隔になるように、投影された線分501上に制御点502を設定し、制御点502ごとに、投影された線分501の法線方向503に1次元のエッジ504の検出を行う(図5(a))。エッジは画素値の濃度勾配505の極値として検出されるため、図5(b)に示すように、複数のエッジ506が検出されることがある。本実施形態では、検出されるエッジをすべて保持する。

10

【0061】

3次元幾何モデルの辺である線分とセンサ情報取得部111から出力された撮影画像のエッジ成分との対応付けを行い、対象物体の位置姿勢を求めるには、位置姿勢を算出するための係数行列と誤差ベクトルの算出を行う。ここで係数行列の各要素は、画像上での点と直線の距離を位置姿勢の関数とした時の、位置姿勢の各要素に関する1次の偏微分係数である。誤差ベクトルは、エッジについては投影された線分と検出されたエッジの画像上での符号付き距離である。係数行列の導出について説明する。

【0062】

20

図6は、線分の投影像と検出されたエッジの関係を説明する図である。図6では、画像の水平方向、垂直方向をそれぞれu軸601、v軸602としている。ある制御点603(投影された各線分を画像上で等間隔に分割した点)の画像上での座標604を(u0, v0)、該制御点が所属する線分の画像上での傾きをu軸601に対する傾き605と表す。傾き605は、線分606の両端の三次元座標をsに基づいて画像上に投影し、画像上での両端の座標を結んだ直線の傾きとして算出する。該線分606の画像上での法線ベクトルは(sin, -cos)となる。また、該制御点603の対応点607の画像上での座標608を(u', v')とする。ここで、対応点607の座標608(u', v')を通り、傾きが605である直線(図6の破線)上の点(u, v)は、以下の式で表すことが出来る。

30

【0063】

【数1】

$$u \sin \theta - v \cos \theta = d \quad \dots (1)$$

$$d = u' \sin \theta - v' \cos \theta$$

【0064】

制御点603の画像上での位置は対象物体の位置姿勢により変化する。また、対象物体の位置姿勢の自由度は6自由度である。すなわち、sは6次元ベクトルであり、対象物体の位置を表す3つの要素と、姿勢を表す3つの要素からなる。姿勢を表す3つの要素は、例えばオイラー角による表現や、方向が原点を通る回転軸を表してノルムが回転角を表す三次元ベクトルなどによって表現される。位置姿勢により変化する点の画像上での座標(u, v)は、座標604(u0, v0)の近傍で1次のテイラー展開によって以下の式(2)のように近似できる。但し si (i = 1, 2, ..., 6)はsの各成分の微小変化を表す。

40

【0065】

【数 2】

$$u \approx u_0 + \sum_{i=1}^6 \frac{\partial u}{\partial s_i} \Delta s_i \quad \dots (2)$$

$$v \approx v_0 + \sum_{i=1}^6 \frac{\partial v}{\partial s_i} \Delta s_i$$

【0066】

位置姿勢の概略値と実際の位置姿勢との差がそれほどないと仮定すると、正しい s によって得られる制御点の画像上での位置は (1) が表す直線上にあると仮定できる。(2) によって近似される u 、 v を (1) に代入することにより、(3) が得られる。

10

【0067】

【数 3】

$$\sin \theta \sum_{i=1}^6 \frac{\partial u}{\partial s_i} \Delta s_i - \cos \theta \sum_{i=1}^6 \frac{\partial v}{\partial s_i} \Delta s_i = d - r \quad \dots (3)$$

【0068】

ただし、 $r = u_0 \sin \theta - v_0 \cos \theta$ (定数) である。(3) は対応付けが行われたすべてのエッジについて立式することができる。なお、すべてのエッジについて立式せず一部のエッジについてだけ立式してもよい。(3) は s の各成分の微小変化 s_i ($i = 1, 2, \dots, 6$) についての方程式であるため、(4) のような s_i に関する線形連立方程式を立てることができる。

20

【0069】

【数 4】

$$\begin{bmatrix} \sin \theta_1 \frac{\partial u}{\partial s_1} - \cos \theta_1 \frac{\partial v}{\partial s_1} & \sin \theta_1 \frac{\partial u}{\partial s_2} - \cos \theta_1 \frac{\partial v}{\partial s_2} & \dots & \sin \theta_1 \frac{\partial u}{\partial s_6} - \cos \theta_1 \frac{\partial v}{\partial s_6} \\ \sin \theta_2 \frac{\partial u}{\partial s_1} - \cos \theta_2 \frac{\partial v}{\partial s_1} & \sin \theta_2 \frac{\partial u}{\partial s_2} - \cos \theta_2 \frac{\partial v}{\partial s_2} & \dots & \sin \theta_2 \frac{\partial u}{\partial s_6} - \cos \theta_2 \frac{\partial v}{\partial s_6} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta s_1 \\ \Delta s_2 \\ \Delta s_3 \\ \Delta s_4 \\ \Delta s_5 \\ \Delta s_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 - r_1 \\ d_2 - r_2 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad \dots (4)$$

30

【0070】

ここで (4) を (5) のように表す。

【0071】

【数 5】

$$J \Delta s = E \quad \dots (5)$$

40

【0072】

線形連立方程式の係数行列 J を算出するため偏微分係数の算出を行う。(5) をもとに、行列 J の一般化逆行列 $(J^T \cdot J)^{-1} \cdot J^T$ を用いて位置姿勢の補正值 s を最小二乗基準で求める。しかしながら、エッジには誤検出などによる外れ値が多いため、次に述べるようなロバスト推定手法を用いる。一般に、外れ値であるエッジでは、(4) の右辺の誤差ベクトルの値が大きくなる。そこで、誤差の絶対値が大きい情報には小さな重みを与え、誤差が小さい情報には大きな重みを与える。重みは例えば (6) に示すような $T u k e y$ の関数により与える。

【0073】

【数6】

$$w(z(d-r)) = \begin{cases} (1 - (z(d-r)/c_1)^2)^2 & |z(d-r)| \leq c_1 \\ 0 & |z(d-r)| > c_1 \end{cases} \quad \dots (6)$$

$$w(e-q) = \begin{cases} (1 - ((e-q)/c_2)^2)^2 & |e-q| \leq c_2 \\ 0 & |e-q| > c_2 \end{cases}$$

【0074】

10

c_1, c_2 は定数である。なお、重みを与える関数はTukeyの関数である必要はなく、例えばHuberの関数など、誤差が大きい情報には小さな重みを与え、誤差が小さい情報には大きな重みを与える関数であれば、如何なる関数であってもよい。各計測情報（エッジまたは点群データ）に対応する重みを w_i とする。ここで(7)のように重み行列 W を定義する。

【0075】

【数7】

$$W = \begin{bmatrix} w_1 & & & 0 \\ & w_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \end{bmatrix} \quad \dots (7)$$

20

【0076】

重み行列 W は、対角成分以外はすべて0の正方行列であり、対角成分には重み w_i が入る。この重み行列 W を用いて、(5)を(8)のように変形する。

【0077】

【数8】

$$WJ\Delta s = WE \quad \dots (8)$$

30

【0078】

(8)を(9)のように解くことにより補正值 s を求める。

【0079】

【数9】

$$\Delta s = (J^T W J)^{-1} J^T W E \quad \dots (9)$$

【0080】

算出された位置姿勢の補正值 s を用いて以下の式を計算することで、位置姿勢の概略値を補正する。

40

【0081】

【数10】

$$s \leftarrow s + \Delta s$$

【0082】

そして、 s の収束判定を行い、収束していれば終了し、そうでなければ繰り返し算出を行う。収束判定では、補正值 s がほぼ0である場合や、誤差ベクトルの二乗和が補正前と補正後でほとんど変わらない場合に収束したと判定する。このように、収束するまで繰り返すことで、位置姿勢を算出できる。

50

【 0 0 8 3 】

本実施形態では最適化手法として Gauss - Newton 法を用いる方法について説明したが、より計算がロバストである Levenberg - Marquardt 法によって行ってもよいし、よりシンプルな方法である最急降下法によって行ってもよい。また、共役勾配法や ICCG 法など、他の非線形最適化計算手法を用いてもよい。

【 0 0 8 4 】

モデル情報として参照画像モデルを利用する場合は、参照画像モデルをテンプレートとしたテンプレートマッチングにより撮影画像と最も一致する参照画像を求め、その参照画像に関連付けられている相対位置姿勢を元に対象物体の位置姿勢を求める。参照画像の輝度を $T(i, j)$ 、撮影画像の輝度を $I(i, j)$ として、参照画像を m 画素 \times n 画素の画像としたとき、参照画像と撮影画像との一致度 R は (10) で求めることができる。

10

【 0 0 8 5 】

【数 1 1】

$$R = \sum_{j=0}^{n-1} \sum_{i=0}^{m-1} (I(i, j) - T(i, j))^2 \quad (10)$$

【 0 0 8 6 】

次に第 2 の方法である、センサ情報取得部 111 から出力された 2 次元のパターン画像から抽出した距離点群と、3 次元幾何モデルから抽出した表面の点群データとのマッチングを行うことで対象物体の位置姿勢を求める方法について説明する。

20

【 0 0 8 7 】

パターン画像から距離点群を求めるには、空間符号化法、光切断法などの公知技術を用いればよい。本実施形態では詳しく説明しない。3 次元幾何モデルの点群と距離画像点群との対応付けを行うために、本実施例では ICP (Iterative Closest Point) 法を用いる。3 次元幾何モデルの表面点群を P とし、以下のように定義する。

【 0 0 8 8 】

【数 1 2】

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_{N_p}\} \quad (11)$$

30

【 0 0 8 9 】

また、距離画像点群を A とし、以下のように定義する。

【 0 0 9 0 】

【数 1 3】

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_{N_a}\} \quad (12)$$

【 0 0 9 1 】

3 次元幾何モデルの表面点群 P を変換して距離点群 A に位置合わせする。点群 P の各点 p_i に距離が最も近い点群 A の点を b_i (A としたとき、(13) の誤差関数を定義できる。 R と t はそれぞれ姿勢パラメータと移動ベクトルである。

40

【 0 0 9 2 】

【数 1 4】

$$E(R, t) = \sum_{i=1}^{N_p} \|b_i - (Rp_i + t)\|^2 \quad (13)$$

【 0 0 9 3 】

50

誤差関数 E を小さくする R と t を求め、(14) による補正を行う。

【0094】

【数15】

$$P \leftarrow RP + t \quad (14)$$

【0095】

誤差関数 E を小さくする R と t を求める方法については、以下の文献に載っている。

【0096】

K. S. Arun, T. S. Huang, and S. D. Blostein, "Least-Squares Fitting of Two 3-D Point Sets," PAMI, vol. 9, no. 5, 1987 10

そして、 P の収束判定を行い、収束していれば終了し、そうでなければ繰り返し補正計算を行う。収束判定では、例えば、 P がほとんど変化しないことをもって収束したと判定する。このように収束するまで繰り返すことで、位置姿勢を算出できる。

【0097】

最後に第3の方法として、エッジ対応付けと距離点群対応付けとの両方を考慮して対象物体の位置姿勢を求めることもできる。この方法は例えば特開2011-27623号公報に開示の方法を適用することで実現できる。

【0098】

このように、ステップS402において領域状態計測処理部113が、把持候補物体の位置姿勢を領域状態データとして求めると、この求めた位置姿勢をロボット作業指示部121および返還領域算出部117に対して送出する。なお、領域状態計測処理部113は、複数個の把持候補物体の位置姿勢を求めたのであれば、求めた全ての位置姿勢をロボット作業指示部121及び返還領域算出部117に対して送出する。 20

【0099】

ステップS403では、ロボット作業指示部121は、領域状態計測処理部113から受けた位置姿勢にロボット100のハンド部を移動させるための指示信号を生成し、生成した指示信号をロボット制御部122に送出する。なお、ロボット100が対象物体を吸着するパッドを備えていれば、領域状態計測処理部113から受けた位置姿勢に基づいて、対象物体103の吸着が可能な位置姿勢にロボット100のパッドを移動させるための指示信号を生成する。 30

【0100】

ロボット作業指示部121は、領域状態計測処理部113から複数の把持候補物体の位置姿勢を受け取った場合は、それらのうち1つの把持候補物体の位置姿勢を選択する。例えば山積みの中でピックできる可能性が高いと想定される一番上にある把持候補物体（位置成分のうちパレット104が載置されている面に対してパレット104が載置されている側の法線方向の座標成分が最も大きい把持候補物体）を選択する。図7にセンサ部101が撮影した画像から位置姿勢を求めることができた対象物体（把持候補物体）を点線で囲って示している。図7では3つの把持候補物体についてその位置姿勢が求められていることが分かる。この3つの把持候補物体うち一番上にある把持候補物体103'を把持対象物体として選択する。なお、図7の点線はあくまで説明のためのものであり実際の画像には現れない。 40

【0101】

ステップS404では、ロボット制御部122は、ロボット作業指示部121からの指示信号に従ってロボット100を制御し、該指示信号が示す位置姿勢にハンド部を移動させる。ロボット100が把持候補物体103'を把持する場合は、ロボット制御部122がロボット100に対して把持候補物体103'を把持する制御を行う。ロボット100が把持候補物体103'を吸着する場合は、ロボット制御部122がロボット100に対して把持候補物体103'を吸着する制御を行う。

【0102】

ステップS405では、ハンド部に装着されているセンサ部102は、ハンド部が把持している把持対象物体を撮影し、撮影した画像をセンサ情報取得部114に対して送受する。センサ部102にはパターン光を照射するプロジェクタが備えられており、センサ情報取得部114は、パターン光が照射された把持対象物体の画像を取得する。

【0103】

ステップS406では、把持状態計測処理部115は、センサ情報取得部114から取得した把持対象物体の撮影画像と、モデル情報保持部112が保持しているモデル情報と、を用いて把持対象物体の位置姿勢を求める。把持対象物体の位置姿勢を求めるために、モデル情報保持部112は保持しているモデル情報を出力する。

【0104】

モデル情報として3次元幾何モデルを利用する場合は、3次元幾何モデルの表面から抽出した点群と、センサ情報取得部114から出力された撮影画像から求めた距離画像点群との対応付けを行うことで対象物体の位置姿勢を求める。パターン画像から距離点群を求めるには、空間符号化法、光切断法などの公知技術を用いればよいため本実施形態では詳しく説明しない。3次元幾何モデルの点群と距離画像点群との対応付けを行うには、ステップS402の第2の方法で説明したICP(Iterative Closest Point)法を用いればよい。

【0105】

モデル情報として参照画像モデルを利用する場合は、参照画像モデルをテンプレートとしたテンプレートマッチングにより撮影画像と最も一致する参照画像を求め、その参照画像に関連付けられている相対位置姿勢を元に対象物体の位置姿勢を求める。具体的な方法は、ステップS402の第1の方法後半で説明している。

【0106】

そして把持状態計測処理部115は、把持対象物体の位置姿勢を求めると、該位置姿勢を判断部116及び返還領域算出部117に対して送受する。なお、把持状態計測処理部115は、把持のずれが大きいなどの理由により、モデルによる位置姿勢検出が出来なかった場合はその旨を判断部116に出力する。

【0107】

ステップS407では、判断部116は、把持状態計測処理部115が求めた位置姿勢と、予めティーチング作業などにより教示した把持対象物体を把持すべき位置姿勢と、を比較して、把持が成功したか否かを判断する。例えば、それぞれの位置姿勢を比較して、相対位置が $200\mu\text{m}$ 以内かつ相対角度(x、y、z成分それぞれ)が0.5度以内であれば組み付けが可能な許容範囲として把持が成功したと判断する。これらの条件を満たさない、もしくは把持状態計測処理部115が位置姿勢検出できなかった場合は把持が失敗したと判断する。

【0108】

把持が成功したと判断した場合、処理はステップS408に進む。一方、把持が失敗したと判断した場合、処理はステップS409に進む。

【0109】

ステップS408では、判断部116は、ロボット作業指示部121に対してロボット100が既定の作業(例えば組み付け作業)を行うよう指示する。

【0110】

ステップS409では、把持対象物体をパレット104の領域内に戻すため、判断部116は、返還領域算出部117に対して把持が失敗したことを示す情報を出力する。この情報を受けた返還領域算出部117は、把持対象物体をパレット104内のどの領域に返還するのかを求める。本実施形態では領域状態として把持候補物体の位置姿勢を用いる。

【0111】

領域状態計測処理部113で計測したパレット104内にある把持候補物体の位置姿勢を利用して返還領域を算出する方法について説明する。本実施形態においては、パレット104内の把持候補物体を避けた領域を返還領域として算出する。把持候補物体はロボッ

10

20

30

40

50

トが良好な状態で把持可能な物体である。そのため、把持候補物体上に積み重ねるように把持している物体を返還すると、次のサイクルで把持候補から外れてしまうため望ましくない。図8(a)は図7と同じくセンサ部101が撮影した画像である。把持対象物体103'はステップS404にてロボットにより把持され、ステップS409の時点においては把持が失敗していると判断されている。図8(a)は、ステップS401で撮影された画像なので、ステップS409の時点では把持対象物体103'はパレット104内に存在せずロボットが把持している。図8(a)において点線で示した対象物体はステップS402で位置姿勢を計測できた対象物体(即ち把持候補物体)である。返還領域は、パレット内の領域でこれらの把持候補物体から例えば30画素以上離れた領域とする。図8(b)に返還領域を斜線で示す。なお、図8(b)では図8(a)に示した把持対象物体103'の部分の返還領域としていない。なぜなら把持対象物体103'の下から次のサイクルで把持候補となる物体が出てくる可能性があるためである。もちろん把持対象物体103'の領域を返還領域としてもよいことは言うまでもない。このように、把持候補物体を避けた領域に返還することで把持候補を隠すことなく効率的な作業を行うことができる。

10

【0112】

なお、撮影画像中における把持候補物体の領域は、把持候補物体の位置姿勢を有する該把持候補物体の3次元幾何モデルを該撮影画像上に投影した領域であるので、図8(b)で斜線で示した返還領域は、この投影した領域外として求めることができる。これは上記のキャリブレーションを予め行っておくことで可能となる。もちろん、この斜線で示した領域を求める方法はこれに限るものではない。

20

【0113】

また、ロボット100による把持対象物体の把持状態データを利用して返還領域を算出してもよい。例えば、ロボット100により把持している把持対象物体の姿勢と似ている姿勢の対象物体の近くには返還しなくてもよい。これは、返還した対象物体が周囲の対象物体と間違われないようにするためである。

【0114】

ようするに、返還領域算出部117は、センサ部101による撮影画像中の把持候補物体の領域を除く領域に相当する「パレット104が載置されている面上の領域」を返還領域として特定する。

30

【0115】

ステップS410では、返還指示部118は、ロボット作業指示部121に対して把持対象物体の返還を指示する。把持対象物体を返還する位置は、ステップS409で特定した領域内に把持対象物体が収まるように決定する。例えば、ステップS409で算出した領域内で、返還指示があった時点でのロボット100のエンドエフェクタに一番近い位置に戻す。把持対象物体を返還する姿勢については把持状態を計測できているかどうかで決め方が異なる。把持状態を計測できている場合は、予め把持あるいは組み付けが成功しやすい姿勢を定めておき、その姿勢になるようにロボット100を制御して返還する。把持状態を計測できていない場合は、把持対象物体をそのままパレット104の山積みに戻してもよいし、同じような失敗を避けるためにロボット100を制御することで姿勢を大きく変更して返還してもよい。

40

【0116】

ステップS411では、ロボット作業指示部121は、ステップS408あるいはステップS410で受けた指示内容をロボット100に行わせるための指示信号を生成してロボット制御部122に対して送出する。ロボット制御部122は、この指示信号に従ってロボット100を制御する。

【0117】

ステップS412では、終了指示があったかどうかを判定する。終了指示がなければステップS401に戻る。終了指示があればフローを終了して全ての動作を停止する。なお、ステップS412での終了判定を待たずに、ユーザが図示しない緊急停止ボタンを押す

50

ことによりフローを終了して全ての動作を停止してもよい。

【0118】

このように、本実施形態では、把持候補物体の位置姿勢を固定的に配置したセンサを利用して計測し、把持状態をロボットに装着したセンサを利用して計測する。ロボットによる把持に失敗したと判断した場合は、対象物体を元あった状態あるいは把持状態に基づき良い状態で返還する。このようにすることで把持対象の候補を減らさずに効率的な作業を行うことができる。

【0119】

なお、上記の構成は、次のような構成の一例に過ぎず、第2の実施形態以降で述べるいくつかの構成も、次のような構成の一例に過ぎない。即ち、第1のセンサを用いてロボットが有する把持部が把持可能な1以上の対象物体の集合が存在する領域の状態を求める(第1の計算)。そして、ロボットを制御し、上記1以上の対象物体のうちの1つを把持部に把持させる。ここで、把持部が把持している対象物体を把持対象物体とし、第2のセンサを用いて把持対象物体を計測した結果から、該把持対象物体の把持状態を求める(第2の計算)。そして、第2の計算で計算した把持状態に基づいて把持が失敗したと判断した場合には、第1のセンサによる計測結果もしくは第2のセンサによる計測結果を用いて、把持対象物体を配置する領域を求める(第3の計算)。そして、第3の計算での計算に基づいて、ロボットを制御し、把持部に把持対象物体を上記領域内に配置させる。

【0120】

[第2の実施形態]

本実施形態では、パレット104内の領域状態として特徴点やエッジなどの2次元画像特徴情報を用いる。本実施形態に係るシステムの構成は第1の実施形態と同様であるが、領域状態計測処理部113、返還領域算出部117、返還指示部118が行う処理内容が第1の実施形態と異なる。

【0121】

また、本実施形態に係るシステムの動作についても、基本的には図4のフローチャートに従うが、ステップS402、ステップS409、ステップS410における処理内容が第1の実施形態と異なる。

【0122】

然るに以下では、第1の実施形態との差分のみについて説明し、以下で特に説明しない限りは、第1の実施形態と同様であるとする。

【0123】

領域状態計測処理部113は、センサ情報取得部111から出力された撮影画像とモデル情報保持部112が保持しているモデル情報とを元にパレット104内の領域状態を計測する。本実施形態では、パレット104内の領域状態として、ロボット100が把持可能な対象物体(把持候補物体)の位置姿勢に加えて、特徴点やエッジなどの2次元画像特徴を計測する。

【0124】

領域状態計測処理部113は、第1の実施形態と同様に、計測した対象物体の位置姿勢をロボット作業指示部121に対して出力して、ロボット100が対象物体を把持するよう指示を行う。また、領域状態計測処理部113は、計測した領域状態に含まれる特徴点やエッジなどの2次元画像特徴を返還領域算出部117に出力する。

【0125】

返還領域算出部117は、判断部116からロボット100による把持が失敗したことを示す情報を受け取り、さらに領域状態計測処理部113から出力された領域状態データ、把持状態計測処理部115から出力された把持状態データを受け取る。これらの情報を受け取った返還領域算出部117は、ロボット100が対象物体を返還すべき返還領域を算出する。返還領域算出部117は、領域状態データ、把持状態データ、算出した返還領域を示すデータを返還指示部118に対して出力する。

【0126】

10

20

30

40

50

返還指示部 118 は、返還領域算出部 117 から領域状態データ、把持状態データ、返還領域を示すデータを受け取る。これらの情報を受け取った返還指示部 118 は、ロボット 100 が対象物体を返還すべき位置姿勢を求め、第 1 の実施形態と同様、ロボット作業指示部 121 に対してロボット 100 が対象物体をパレット 104 内に返還するよう指示を行う。

【0127】

ステップ S402 では、領域状態計測処理部 113 にてセンサ情報取得部 111 が取得した画像からパレット 104 内の領域状態として複数ある対象物体のうち少なくとも 1 つの把持候補物体の位置姿勢を計測する。さらに、センサ情報取得部 111 から出力された均一輝度の光を対象物体に照射した撮影画像から 2 次元画像特徴を抽出する。例えば Sobel フィルタやラプラシアンフィルタなどの微分フィルタを利用したり、SIFT 特徴を演算で求めたりすることで 2 次元画像特徴を抽出することができる。

10

【0128】

ステップ S402 において領域状態計測処理部 113 で把持候補物体の位置姿勢を求めると、領域状態計測処理部 113 は、この求めた位置姿勢をロボット作業指示部 121 に対して出力する。また、領域状態計測処理部 113 は、返還領域算出部 117 に特徴点やエッジなどの 2 次元画像特徴を出力する。

【0129】

ステップ S409 では、把持対象物体をパレット 104 の領域内に戻すため、判断部 116 は、返還領域算出部 117 に対して把持が失敗したことを示す情報を出力する。この情報を受けた返還領域算出部 117 は、把持対象物体をパレット 104 のどの領域に返還するのかを求める。本実施形態では領域状態として特徴点やエッジなどの 2 次元画像特徴を用いる。

20

【0130】

領域状態計測処理部 113 で計測したパレット 104 内の 2 次元画像特徴（エッジや特徴点）を利用して返還領域を算出する方法について説明する。本実施形態においては、パレット 104 内の 2 次元画像特徴が極端に多い領域あるいは極端に少ない領域を返還領域として算出する。2 次元画像特徴が極端に多い領域は、例えば対象物体同士が絡まっていたり、対象物体同士で光の乱反射が起きている領域である。また、2 次元画像特徴が極端に少ない領域は、プロジェクタの光が直接反射してスペキュラが発生したり他の物体の影になっている領域である。これらの領域は、2 次元画像特徴の量が適切でないため、山積み状態が大きく変わらない限り対象物体の位置姿勢を計測しにくい領域である。図 9 (a) は図 7 と同じくセンサ部 101 が撮影した撮影画像である。図 9 (a) では撮影画像（パレット 104 内）を例えば 100 画素 × 100 画素のグリッドで区切り、グリッド内で検出された 2 次元画像特徴の量を計数する。そして、2 次元特徴の量が所定の割合（例えば 5% ~ 95%）のグリッド以外のグリッドを対象物体の位置姿勢を求めにくい返還領域とする。図 9 (b) に返還領域を斜線で示す。

30

【0131】

ようするに、返還領域算出部 117 は、センサ部 101 による撮影画像において、規定範囲外の量の 2 次元画像特徴を有する領域に相当する「パレット 104 が載置されている面上の領域」を返還領域として特定する。

40

【0132】

ステップ S410 では、返還指示部 118 は、ロボット作業指示部 121 に対して把持対象物体 103' の返還を指示する。把持対象物体 103' を返還する位置は、ステップ S409 で特定した領域内に把持対象物体 103' が収まるように決定する。例えば、ステップ S409 で算出した領域内で、返還指示があった時点でのロボット 100 のエンドエフェクタが一番近い位置に戻す。把持対象物体 103' を返還する姿勢については把持状態を計測できているかどうかで決め方が異なる。把持状態を計測できている場合は、予め把持あるいは組み付けが成功しやすい姿勢を定めておき、その姿勢になるようにロボット 100 を制御して返還する。把持状態を計測できていない場合は、把持対象物体 103

50

’をそのままパレット104の山積みに戻してもよいし、同じような失敗を避けるためにロボット100を制御することで姿勢を大きく変更して返還してもよい。

【0133】

このように、本実施形態では、ロボットによる把持に失敗した場合、山積みの状態が大きく変わらない限り対象物体の位置姿勢を求めにくい領域に対象物体を返還する。このようにすると、対象物体の位置姿勢を求めやすい領域に影響がないため効率的な作業を行うことができる。

【0134】

[第3の実施形態]

本実施形態では、パレット内の領域状態として距離計測状態などの3次元情報を用いる。本実施形態に係るシステムの構成は第1の実施形態と同様であるが、領域状態計測処理部113、返還領域算出部117、返還指示部118が行う処理内容が第1の実施形態と異なる。

【0135】

また、本実施形態に係るシステムの動作についても、基本的には図4のフローチャートに従うが、ステップS402、ステップS409、ステップS410における処理内容が第1の実施形態と異なる。

【0136】

然るに以下では、第1の実施形態との差分のみについて説明し、以下で特に説明しない限りは、第1の実施形態と同様であるとする。

【0137】

領域状態計測処理部113は、センサ情報取得部111から出力された撮影画像とモデル情報保持部112が保持しているモデル情報とを元にパレット104内の領域状態を計測する。本実施形態では、パレット104内の領域状態として、ロボット100が把持可能な対象物体の位置姿勢に加えて、距離計測状態などの3次元情報を計測する。

【0138】

領域状態計測処理部113は、第1の実施形態と同様に、計測した対象物体の位置姿勢をロボット作業指示部121に対して出力して、ロボット100が対象物体を把持するよう指示を行う。また、領域状態計測処理部113は、計測した領域状態に含まれている距離計測状態などの3次元情報を返還領域算出部117に出力する。

【0139】

返還領域算出部117は、判断部116からロボット100による把持が失敗したことを示す情報を受け取り、さらに領域状態計測処理部113から出力された領域状態データ、把持状態計測処理部115から出力された把持状態データを受け取る。これらの情報を受け取った返還領域算出部117は、ロボット100が対象物体を返還すべき返還領域を算出する。返還領域算出部117は、領域状態データ、把持状態データ、算出した返還領域を示すデータを返還指示部118に対して出力する。

【0140】

返還指示部118は、返還領域算出部117から領域状態データ、把持状態データ、返還領域を示すデータを受け取る。これらの情報を受け取った返還指示部118は、ロボット100が対象物体を返還すべき位置姿勢を求め、第1の実施形態と同様、ロボット作業指示部121に対してロボット100が対象物体をパレット104内に返還するよう指示を行う。

【0141】

ステップS402では、領域状態計測処理部113にてセンサ情報取得部111が取得した画像からパレット104内の領域状態として複数ある対象物体のうち少なくとも1つの把持候補物体の位置姿勢を計測する。さらに、センサ情報取得部111から出力された撮影画像(パターン画像)を元に距離計測状態などの3次元情報を抽出する。距離計測状態とは、センサ情報取得部111から出力された2次元のパターン画像から抽出した距離画像がセンサ部101のカメラの各画素に対応して適正に計測できているかを示す状態の

10

20

30

40

50

ことを意味する。求めた距離画像の中で対応を求めることができずに距離値が不定 (Unknown) 状態の画素や、想定される距離範囲外 (例えばパレット底面に対してカメラと反対側にある、あるいはパレットの底面からカメラ側に 20 cm 以上高さがあると計測される場合) の画素は距離計測状態が悪い画素とする。それ以外の画素は距離計測状態が良好の画素とする。パターン画像から距離画像を求めるには例えば空間符号化法、光切断法などの公知技術を用いて求める。

【0142】

ステップ S 4 0 2 において領域状態計測処理部 1 1 3 で把持候補物体の位置姿勢を求めると、領域状態計測処理部 1 1 3 は、この求めた位置姿勢をロボット作業指示部 1 2 1 に対して出力する。また、領域状態計測処理部 1 1 3 は、返還領域算出部 1 1 7 に距離計測状態などの 3 次元情報を出力する。

10

【0143】

ステップ S 4 0 9 では、把持対象物体をパレット 1 0 4 の領域内に戻すため、判断部 1 1 6 は、返還領域算出部 1 1 7 に対して把持が失敗したことを示す情報を出力する。この情報を受け付けた返還領域算出部 1 1 7 は、把持対象物体をパレット 1 0 4 のどの領域に返還するのかを求める。本実施形態においては領域状態として距離計測状態などの 3 次元情報を用いる。

【0144】

領域状態計測処理部 1 1 3 で計測したパレット 1 0 4 内の距離計測状態を利用して返還領域を算出する方法について説明する。本実施形態においては、パレット 1 0 4 内の距離計測状態から距離値が不定 (Unknown) 状態の画素や、想定される距離範囲外 (例えばパレット底面に対してカメラと反対側にある、あるいはパレットの底面からカメラ側に 20 cm 以上高さがあると計測される場合) の画素が多い領域を返還領域として算出する。これらの領域はプロジェクタのパターン光とカメラで撮影した画像との対応付けが出来ていない、言い換えると距離計測状態が悪く対象物体の位置姿勢を求めにくい領域である。図 9 (a) と同様に距離画像のパレット 1 0 4 内を例えば 1 0 0 画素 × 1 0 0 画素のグリッドで区切り、グリッド内で検出された距離計測状態が悪い画素を数え、所定の割合 (例えば 5 0 %) 以上あるグリッドを対象物体の位置姿勢を求めにくい返還領域とする。

20

【0145】

ようするに、返還領域算出部 1 1 7 は、センサ部 1 0 1 による距離画像において、距離計測状態が不良であることを示す条件を満たす領域に相当する「パレット 1 0 4 が載置されている面上の領域」を返還領域として特定する。

30

【0146】

ステップ S 4 1 0 では、返還指示部 1 1 8 は、ロボット作業指示部 1 2 1 に対して把持対象物体 1 0 3 ' の返還を指示する。把持対象物体 1 0 3 ' を返還する位置は、ステップ S 4 0 9 で算出した領域内に把持対象物体 1 0 3 ' が収まるように決定する。例えば、ステップ S 4 0 9 で特定した領域内で、返還指示があった時点でのロボット 1 0 0 のエンドエフェクタに一番近い位置に戻す。把持対象物体 1 0 3 ' を返還する姿勢については、把持状態を計測できているかどうかで決め方が異なる。把持状態を計測できている場合は、予め把持あるいは組み付けが成功しやすい姿勢を定めておき、その姿勢になるようにロボット 1 0 0 を制御して返還する。把持状態を計測できていない場合は、把持対象物体 1 0 3 ' をそのままパレット 1 0 4 の山積みに戻してもよいし、同じような失敗を避けるためにロボット 1 0 0 を制御することで姿勢を大きく変更して返還してもよい。

40

【0147】

このように、本実施形態では、ロボットによる把持に失敗した場合、距離計測状態が悪く対象物体の位置姿勢を求めにくい領域に対象物体を返還する。このようにすると対象物体の位置姿勢を求めやすい領域に影響がないため効率的な作業を行うことができる。

【0148】

[第4の実施形態]

本実施形態では、パレット内の領域状態としてパレット内の距離分布を用いる。本実施

50

形態に係るシステムの構成は第1の実施形態と同様であるが、領域状態計測処理部113、返還領域算出部117、返還指示部118が行う処理内容が第1の実施形態と異なる。

【0149】

また、本実施形態に係るシステムの動作についても、基本的には図4のフローチャートに従うが、ステップS402、ステップS409、ステップS410における処理内容が第1の実施形態と異なる。

【0150】

然るに以下では、第1の実施形態との差分のみについて説明し、以下で特に説明しない限りは、第1の実施形態と同様であるとする。

【0151】

領域状態計測処理部113は、センサ情報取得部111から出力された撮影画像とモデル情報保持部112が保持しているモデル情報とを元にパレット104内の領域状態を計測する。本実施形態では、パレット104内の領域状態として、ロボット100が把持可能な対象物体の位置姿勢に加えて、パレット内の距離分布を計測する。

【0152】

領域状態計測処理部113は、計測した対象物体の位置姿勢情報をロボット作業指示部121に対して出力して、ロボット100が対象物体を把持するよう指示を行う。また、領域状態計測処理部113は、計測した領域状態に含まれているパレット内の距離分布を返還領域算出部117に出力する。

【0153】

返還領域算出部117は、判断部116からロボット100による把持が失敗したことを示す情報を受け取り、さらに領域状態計測処理部113から出力された領域状態データ、把持状態計測処理部115から出力された把持状態データを受け取る。これらの情報を受け取った返還領域算出部117は、ロボット100が把持対象物体を返還すべき返還領域を算出する。返還領域算出部117は、領域状態データ、把持状態データ、算出した返還領域を示すデータを返還指示部118に対して出力する。

【0154】

返還指示部118は、返還領域算出部117から領域状態データ、把持状態データ、返還領域を示すデータを受け取る。これらの情報を受け取った返還指示部118は、ロボット100が把持対象物体を返還すべき位置姿勢を求め、ロボット作業指示部121に対してロボット100が把持対象物体をパレット104内に返還するよう指示を行う。

【0155】

ステップS402では、領域状態計測処理部113にてセンサ情報取得部111が取得した画像からパレット104内の領域状態として複数ある対象物体のうち少なくとも1つの把持候補物体の位置姿勢を計測する。さらに、センサ情報取得部111から出力されたパターン画像を元にパレット内の距離分布を抽出する。距離分布とは、パレット104内の対象物体をセンサ部101から見たときの表面の距離分布のことを意味する。センサ情報取得部111から出力された2次元のパターン画像から求めた距離画像を距離分布とする。パターン画像から距離画像を求めるには、空間符号化法、光切断法などの公知技術を用いればよい。さらに、求めた距離画像の中で距離値が不定(Unknown)状態の画素や、想定される距離範囲外(例えばパレット底面に対してカメラと反対側にある、あるいはパレットの底面からカメラ側に20cm以上高さがあると計測される場合)の画素は、「距離計測状態が悪い画素」とする。そしてこのような「距離計測状態が悪い画素」については、周囲の距離計測状態が良い画素の距離値を使って補間してもよい。こうすることで連続的な距離分布を求めることができる。

【0156】

ステップS402において領域状態計測処理部113で把持候補物体の位置姿勢を求めると、ロボット作業指示部121に把持候補物体の位置姿勢を出力する。また、返還領域算出部117に距離分布を出力する。

【0157】

10

20

30

40

50

ステップS 4 0 9では、把持対象物体をパレット1 0 4の領域内に戻すため、判断部1 1 6は、返還領域算出部1 1 7に対して把持が失敗したことを示す情報を出力する。この情報を受けた返還領域算出部1 1 7は、把持対象物体をパレット1 0 4のどの領域に返還するのかを求める。本実施形態においては領域状態としてパレット内の距離分布を用いる。

【0 1 5 8】

領域状態計測処理部1 1 3で計測したパレット1 0 4内の距離分布を利用して返還領域を算出する方法について説明する。本実施形態においては、パレット1 0 4内の距離分布のヒストグラムを求め、分散が小さく平坦に近い領域を返還領域として算出する。これらの領域は山が入り組んでいないため、返還した把持対象物体が次のサイクルで他の対象物体に引っかかって取出せない状況 avoid することができる領域である。また、把持対象物体を返還したときに思わぬ場所に転がったりしない領域である。図9 (a)と同様に距離画像のパレット1 0 4内を例えば1 0 0画素×1 0 0画素のグリッドで区切る。そして、グリッド内で検出された距離分布のヒストグラムから分散を計算し、分散が所定値より小さい(例えば 範囲が±1 c m以内)グリッドを把持対象物体を戻すべき返還領域とする。

10

【0 1 5 9】

ようするに、返還領域算出部1 1 7は、センサ部1 0 1による距離画像における各領域のうち、領域内の距離の分散が規定値よりも小さい領域に相当する「パレット1 0 4が載置されている面上の領域」を返還領域として特定する。

【0 1 6 0】

ステップS 4 1 0では、返還指示部1 1 8は、ロボット作業指示部1 2 1に対して把持対象物体1 0 3 'の返還を指示する。把持対象物体1 0 3 'を返還する位置は、ステップS 4 0 9で算出した領域内に把持対象物体1 0 3 'が収まるように決定する。例えば、ステップS 4 0 9で特定した領域内で、返還指示があった時点でのロボット1 0 0のエンドエフェクタが一番近い位置に戻す。把持対象物体1 0 3 'を返還する姿勢については把持状態を計測できているかどうかで決め方が異なる。把持状態を計測できている場合は、予め把持あるいは組み付けが成功しやすい姿勢を定めておき、その姿勢になるようにロボット1 0 0を制御して返還する。把持状態を計測できていない場合は、把持対象物体1 0 3 'をそのままパレット1 0 4の山積みに戻してもよいし、同じような失敗を避けるためにロボット1 0 0を制御することで姿勢を大きく変更して返還してもよい。

20

30

【0 1 6 1】

このように、本実施形態では、ロボットによる把持に失敗した場合、距離分布のヒストグラムの分散が小さい領域に把持対象物体を返還する。このようにすると次のサイクルで他の対象物体に引っかかったり、返還した時に思わぬ場所に転がったりしないため効率的な作業を行うことができる。

【0 1 6 2】

[第5の実施形態]

本実施形態では、パレット内の領域状態としてパレットの枠の位置情報を用いる。本実施形態に係るシステムの構成は第1の実施形態と同様であるが、領域状態計測処理部1 1 3、返還領域算出部1 1 7、返還指示部1 1 8が行う処理内容が第1の実施形態と異なる。

40

【0 1 6 3】

また、本実施形態に係るシステムの動作についても、基本的には図4のフローチャートに従うが、ステップS 4 0 2、ステップS 4 0 9、ステップS 4 1 0における処理内容が第1の実施形態と異なる。

【0 1 6 4】

然るに以下では、第1の実施形態との差分のみについて説明し、以下で特に説明しない限りは、第1の実施形態と同様であるとする。

【0 1 6 5】

領域状態計測処理部1 1 3は、センサ情報取得部1 1 1から出力された撮影画像とモデ

50

ル情報保持部 112 が保持しているモデル情報とを元にパレット 104 内の領域状態を計測する。本実施形態では、パレット 104 内の領域状態としてロボット 100 が把持可能な対象物体の位置姿勢に加えて、パレットの枠の位置情報を計測する。

【0166】

領域状態計測処理部 113 は、第 1 の実施形態と同様に、計測した対象物体の位置姿勢情報をロボット作業指示部 121 に対して出力して、ロボット 100 が対象物体を把持するよう指示を行う。また、領域状態計測処理部 113 は、計測した領域状態に含まれているパレットの枠の位置情報を返還領域算出部 117 に出力する。

【0167】

返還領域算出部 117 は、判断部 116 からロボット 100 による把持が失敗したことを示す情報を受け取り、さらに領域状態計測処理部 113 から出力された領域状態データ、把持状態計測処理部 115 から出力された把持状態データを受け取る。これらの情報を受け取った返還領域算出部 117 は、ロボット 100 が把持対象物体を返還すべき返還領域を算出する。返還領域算出部 117 は、領域状態データ、把持状態データ、算出した返還領域を示すデータを返還指示部 118 に対して出力する。

10

【0168】

返還指示部 118 は、返還領域算出部 117 から領域状態データ、把持状態データ、返還領域を示すデータを受け取る。これらの情報を受け取った返還指示部 118 は、ロボット 100 が把持対象物体を返還すべき位置姿勢を求め、ロボット作業指示部 121 に対してロボット 100 が把持対象物体をパレット 104 内に返還するよう指示を行う。

20

【0169】

ステップ S402 では、領域状態計測処理部 113 にてセンサ情報取得部 111 が取得した画像から領域状態として複数ある対象物体のうち少なくとも 1 つの把持候補物体の位置姿勢を計測する。さらに、センサ情報取得部 111 から出力された均一輝度の光を対象物体に照射した撮影画像からパレットの枠の位置情報を計測する。パレットの枠の位置は、センサ情報取得部 111 から出力された均一輝度の光を対象物体に照射した 2 次元画像から、パレット形状をテンプレートとしてテンプレートマッチングで求めたり、パレットの上辺である 4 本の直線を検出して求めることができる。

【0170】

ステップ S402 において領域状態計測処理部 113 で把持候補物体の位置姿勢を求めると、領域状態計測処理部 113 は、この求めた位置姿勢をロボット作業指示部 121 に対して出力する。また、領域状態計測処理部 113 は、返還領域算出部 117 にパレットの枠の位置情報を出力する。

30

【0171】

ステップ S409 では、把持対象物体をパレット 104 の領域内に戻すため、判断部 116 は、返還領域算出部 117 に対して把持が失敗したことを示す情報を出力する。この情報を受けた返還領域算出部 117 は、把持対象物体をパレット 104 のどの領域に返還するのかを求める。本実施形態においては領域状態としてパレットの枠の位置情報を用いる。

【0172】

領域状態計測処理部 113 で計測したパレット 104 の枠の位置情報を利用して返還領域を算出する方法について説明する。本実施形態では、パレット 104 の端である枠付近に対象物体を置いても、以降のサイクルでロボット 100 が把持対象物体を把持する際にパレットの枠に干渉する可能性が高まるため、パレット 104 の枠から離れたパレット 104 内の領域を返還領域とする。図 10 のように枠の位置から例えば 100 画素離れた領域を返還領域とする。

40

【0173】

ようするに、返還領域算出部 117 は、センサ部 101 による撮影画像中の対象物体の集合を収容している容器の枠から規定距離だけ内側の領域に相当する「パレット 104 が載置されている面上の領域」を返還領域として特定する。

50

【 0 1 7 4 】

ステップ S 4 1 0 では、返還指示部 1 1 8 は、ロボット作業指示部 1 2 1 に対して把持対象物体 1 0 3 ' の返還を指示する。把持対象物体 1 0 3 ' を返還する位置は、ステップ S 4 0 9 で算出した領域内に把持対象物体 1 0 3 ' が収まるように決定する。例えば、ステップ S 4 0 9 で特定した領域内で、返還指示があった時点でのロボット 1 0 0 のエンドエフェクタに一番近い位置に戻す。把持対象物体 1 0 3 ' を返還する姿勢については把持状態を計測できているかどうかで決め方が異なる。把持状態を計測できている場合は、予め把持あるいは組み付けが成功しやすい姿勢を定めておき、その姿勢になるようにロボット 1 0 0 を制御して返還する。把持状態を計測できていない場合は、把持対象物体 1 0 3 ' をそのままパレット 1 0 4 の山積みに戻してもよいし、同じような失敗を避けるためにロボット 1 0 0 を制御することで姿勢を大きく変更して返還してもよい。

10

【 0 1 7 5 】

このように、本実施形態ではロボットによる把持に失敗した場合、ロボットが対象物体を把持するときには枠に干渉しにくい領域に対象物体を返還する。このようにするとロボットにより対象物体を把持するときにはパレットの枠にロボットが干渉しないため効率的な作業を行うことができる。

【 0 1 7 6 】

[第 6 の実施形態]

本実施形態では、ロボットに装着され対象物体に関する 3 次元情報（距離画像や 3 次元点群データを求めるための 2 次元画像）を取得するセンサ（プロジェクタとカメラ）を用いて対象物体が山積みされたパレット内の領域状態を計測する。組み付け対象物体の近くに配置されロボットが把持した対象物体と組み付け対象物体の 3 次元情報（距離画像や 3 次元点群データを求めるための 2 次元画像）を取得するセンサ（プロジェクタとカメラ）を用いてロボットによる対象物体の組み付け状態計測を行う。ロボットでの組み付けに失敗したと判断した場合は、計測したパレット内の領域状態に基づいて対象物体をパレット内に返還する領域を算出する。そして、ロボットに対して把持している対象物体を返還領域に返還する指示を行う。ロボットは指示に従って対象物体を返還する。以下では、第 1 の実施形態との差分のみについて説明し、以下で特に説明しない限りは、第 1 の実施形態と同様であるとする。

20

【 0 1 7 7 】

まず、本実施形態に係るシステムの構成例について、図 1 1 を用いて説明する。図 1 1 において、図 1 に示した機能部と同じ機能部には同じ参照番号を付しており、これに係る説明は省略する。図 1 1 に示す如く、本実施形態では、センサ部 1 0 5 を上記のセンサ部 1 0 2 のようにロボット 1 0 0 のハンド部近傍に装着し、センサ部 1 0 6 を組み付け対象物体 1 0 7 の近くに配置する。組み付け対象物体 1 0 7 は筒状の物体であり、対象物体 1 0 3 を中に嵌め込み組み付けることができる。

30

【 0 1 7 8 】

画像処理部 1 1 0 内の組み付け状態計測処理部 1 1 9 は、ロボット 1 0 0 が対象物体を組み付け対象物体 1 0 7 に組み付ける際の状態を計測する。判断部 1 2 9 は、組み付け状態計測処理部 1 1 9 で計測した組み付け状態が成功しているか否かの判断を行い、成功していればロボット作業指示部 1 2 1 にロボット 1 0 0 による組み付け作業を指示する。失敗していれば返還領域算出部 1 1 7 に組み付け失敗していることを示す情報を出力する。

40

【 0 1 7 9 】

次に、本実施形態に係るシステムの動作について、図 1 2 のフローチャートを用いて説明する。

【 0 1 8 0 】

ステップ S 1 2 0 1 では、ハンド部近傍に装着されているセンサ部 1 0 5 は、対象物体 1 0 3 を撮影し、撮影した画像をセンサ情報取得部 1 1 1 に対して送出するので、センサ情報取得部 1 1 1 は、この撮影画像を領域状態計測処理部 1 1 3 に対して送出する。

【 0 1 8 1 】

50

ステップS 1 2 0 2では、領域状態計測処理部 1 1 3は、センサ情報取得部 1 1 1から受けた撮影画像と、モデル情報保持部 1 1 2が保持しているモデル情報と、を用いて、把持候補物体の位置姿勢を含む領域状態を計測する。把持候補物体の位置姿勢を計測する処理には、第 1 に実施形態においてステップS 4 0 2 で説明した第 2 の方法を利用することができる。また、領域状態は第 1 乃至 5 の実施形態で説明したものと同等である。

【 0 1 8 2 】

ステップS 1 2 0 3では、ロボット作業指示部 1 2 1は、領域状態計測処理部 1 1 3から受けた位置姿勢にロボット 1 0 0のハンド部を移動させてから把持対象物体を把持させて組み付け対象物体 1 0 7に組み付けさせるための指示信号を生成する。そしてロボット作業指示部 1 2 1は、この生成した指示信号をロボット制御部 1 2 2に送出する。

10

【 0 1 8 3 】

ステップS 1 2 0 4では、ロボット制御部 1 2 2は、ロボット作業指示部 1 2 1からの指示信号に従ってロボット 1 0 0 を制御し、把持対象物体を把持して組み付け対象物体 1 0 7に対して組み付けさせる。

【 0 1 8 4 】

ステップS 1 2 0 5では、センサ部 1 0 6は、ハンド部が把持している把持対象物体と、組み付け対象物体 1 0 7と、を撮影し、撮影した画像をセンサ情報取得部 1 1 4に対して送出する。

【 0 1 8 5 】

ステップS 1 2 0 6では、組み付け状態計測処理部 1 1 9は、センサ情報取得部 1 1 4から取得した撮影画像と、モデル情報保持部 1 1 2が保持しているモデル情報と、を用いて、ロボット 1 0 0による組み付け状態を計測する。組み付け状態は第 1 の実施形態のステップS 4 0 6で説明した方法を利用して、ロボット 1 0 0による把持対象物体の位置姿勢と組み付け対象物体 1 0 7の位置姿勢とを求めることで計測する。

20

【 0 1 8 6 】

ステップS 1 2 0 7では、判断部 1 2 9が、組み付けが成功したか否かを判断する。この判断は、ステップS 1 2 0 6で計測した把持対象物体の位置姿勢と組み付け対象物体 1 0 7の位置姿勢との相対位置姿勢と、予めティーチング作業などにより教示した対象物体と組み付け対象物体 1 0 7との相対位置姿勢と、を比較することで行う。

【 0 1 8 7 】

例えば、それぞれの相対位置姿勢を比較して、相対位置が $200\ \mu\text{m}$ 以内かつ相対角度 (x 、 y 、 z 成分それぞれ) が 0.5 度以内であれば組み付けが成功したと判断する。これらの条件を満たさない、もしくは組み付け状態計測処理部 1 1 9が対象物体もしくは組み付け対象物体 1 0 7の位置姿勢を検出できなかった場合は組み付けが失敗したと判断する。成功したと判断した場合は処理をステップS 1 2 1 1に進める。失敗したと判断した場合は処理をステップS 1 2 0 8に進める。

30

【 0 1 8 8 】

ステップS 1 2 0 8、S 1 2 0 9、S 1 2 1 0、S 1 2 1 1はそれぞれ第 1 の実施形態のステップS 4 0 9、S 4 1 0、S 4 1 1、S 4 1 2と同様であるため説明を省略する。ただしステップS 1 2 1 0はステップS 1 2 0 9での指示にのみ従う(第 1 の実施形態のように把持が成功した場合の作業は本実施形態では行わない)。

40

【 0 1 8 9 】

このように、本実施形態では、把持候補物体の位置姿勢をロボットに装着したセンサを利用して計測し、組み付け状態を組み付け対象物体の近くに固定的に配置したセンサを利用して計測する。ロボットによる組み付けに失敗したと判断した場合は、対象物体を元あった状態に基づき良い状態で返還する。このようにすることで把持対象の候補を減らさずに効率的な作業を行うことができる。

【 0 1 9 0 】

[第 7 の実施形態]

第 1 乃至 6 の実施形態では、返還領域を境界線に囲まれた領域とした。これは返還領域

50

を撮影画像の画素ごとに返還領域 = 1、非返還領域 = 0 と 2 値で表現していることと同じである。変形例として、撮影画像の画素ごとに 0 から 1 までの連続的な値を持たせて表現してもよい。例えば 2 次元画像特徴や 3 次元情報を信頼度付きで計測し、信頼度を用いて返還領域を表現してもよい。返還指示を行う際は最も信頼度の低い位置にロボットにより把持している対象物体を返還してもよい。

【 0 1 9 1 】

また、第 6 の実施形態ではセンサ部 1 0 6 を利用して計測した組み付け状態に基づいて対象物体を返還する技術について説明した。変形例として、ロボット 1 0 0 の制御パラメータを利用して組み付け状態を計測してもよい。ロボット 1 0 0 の制御パラメータに基づき、ロボット 1 0 0 が予め定めた組み付け動作とは異なる動作をしていると判断した場合は、組み付けが失敗したと判断して対象物体を返還してもよい。

10

【 0 1 9 2 】

また、対象物体を返還する方法にはバリエーションがあり、第 1 乃至 6 の実施形態で説明したそれぞれのうちどれを選択するかは装置を使用するユーザが対象物体の大きさ、形状の複雑さ、素材などから決定すればよい。把持対象物体を返還する方法は、キーボードやマウスなどのユーザインターフェースを操作してユーザが選択しても良いし、状況に応じて画像処理部 1 1 0 が切り替えても良い。

【 0 1 9 3 】

また、センサ部 1 0 1 とセンサ部 1 0 2 とを同じセンサ部で構成してもよい。具体的には、ロボットに装着したセンサ部 1 0 2 にセンサ部 1 0 1 の役割も持たせることで実現する。まずロボット 1 0 0 によりセンサ部 1 0 2 をパレット 1 0 4 の上方に配置してパレット内の領域状態を計測する。ロボット 1 0 0 による対象物体の把持を行ったらセンサ部 1 0 2 で把持している対象物体の把持状態を計測する。把持に失敗していることを計測したら、センサ部 1 0 2 を用いて計測した領域状態あるいは把持状態に基づいて対象物体を返還する領域を算出し、返還を指示する。

20

【 0 1 9 4 】

また、センサ部 1 0 5 とセンサ部 1 0 6 とを同じセンサ部で構成してもよい。具体的にはロボットに装着したセンサ部 1 0 5 にセンサ部 1 0 6 の役割も持たせることで実現する。まずロボット 1 0 0 によりセンサ部 1 0 5 をパレット 1 0 4 の上方に配置してパレット内の領域状態を計測する。ロボット 1 0 0 による対象物体の組み付けを行ったらセンサ部 1 0 5 で把持している対象物体の位置姿勢と組み付け対象物体の位置姿勢とを計測して組み付け状態を求める。組み付けに失敗していることを計測したら、センサ部 1 0 5 を用いて計測した領域状態に基づいて対象物体を返還する領域を算出し、返還を指示する。

30

【 0 1 9 5 】

また、センサ部 1 0 1、1 0 2、1 0 5、1 0 6 は対象物体に関する 3 次元情報（距離画像や 3 次元点群データ）を取得するセンサ部（距離画像センサや 3 次元点群計測センサ）であってもよい。距離画像を取得するセンサ部としては、プロジェクトとカメラからなる距離画像センサや、各画素までの奥行きを光伝播時間によって計測する T O F 型の距離画像センサなどを用いることができる。また、2 次元配列に並ぶ画像状の距離データにならなくても、まばらな点群として計測されている 3 次元点群データであってもよい。

40

【 0 1 9 6 】

また、センサ部を 1 次元ラインセンサで構成して、ベルトコンベアなどに載って動いている対象物体を走査することで対象物体に関する情報を取得してもよい。

【 0 1 9 7 】

また、上記ではモデル情報保持部 1 1 2 に保持されたモデルを利用した位置姿勢計測について説明を行った。しかし、センサ部 1 0 1 およびセンサ部 1 0 2（あるいはセンサ部 1 0 5 およびセンサ部 1 0 6）をそれぞれステレオカメラで構成してステレオ計測により対象物体の位置姿勢計測を行ってもよい。

【 0 1 9 8 】

また、上記の説明ではセンサ部 1 0 2 の位置姿勢を変更するためにロボットを用いたが

50

、ロボットを用いることに限らない。例えば、直動ステージと回転ステージを組み合わせた機構部にセンサ部 102 を搭載して、ステージの制御によって位置姿勢を変更しても良い。対象物体を操作するロボットとは別に、位置姿勢変更構成を設けても良い。

【0199】

また、ロボット作業指示部 121 は、領域状態計測処理部 113 から複数の把持候補物体の位置姿勢を受け取った場合にそれらのうち 1 つの把持候補物体の位置姿勢を選択するが、領域状態計測処理部 113 で選択してもよい。

【0200】

また、図 1, 11 に示した画像処理部 110 は、一般の PC (パーソナルコンピュータ) を用いて実現することができる。例えば、モデル情報保持部 112 をハードディスク装置で構成し、且つ画像処理部 110 においてモデル情報保持部 112 以外の各部の機能を PC の CPU に実行させるためのコンピュータプログラムやデータをこのハードディスク装置に格納しておく。CPU は、ハードディスク装置に格納されているコンピュータプログラムやデータを適宜 RAM 等のメモリにロードし、該コンピュータプログラムやデータを用いて処理を実行できるので、結果として PC は、画像処理部 110 の機能を実現することができる。

10

【0201】

<各実施形態の効果>

第 1 の実施形態では、把持候補物体の位置姿勢を固定的に配置したセンサを利用して計測し、把持状態をロボットに装着したセンサを利用して計測する。ロボットによる把持に失敗したと判断した場合は、対象物体を元あった状態あるいは把持状態に基づき良い状態で返還する。このようにすることで把持対象の候補を減らさずに効率的な作業を行うことができる。

20

【0202】

第 2 の実施形態では、ロボットによる把持に失敗した場合、山積みの状態が大きく変わらない限り対象物体の位置姿勢を求めにくい領域に対象物体を返還する。このようにすると、対象物体の位置姿勢を求めやすい領域に影響がないため効率的な作業を行うことができる。

【0203】

第 3 の実施形態では、ロボットによる把持に失敗した場合、距離計測状態が悪く対象物体の位置姿勢を求めにくい領域に対象物体を返還する。このようにすると、対象物体の位置姿勢を求めやすい領域に影響がないため効率的な作業を行うことができる。

30

【0204】

第 4 の実施形態では、ロボットによる把持に失敗した場合、距離分布のヒストグラムの分散が小さい領域に対象物を返還する。このようにすると、次のサイクルで他の対象物体にひっかかったり、返還した時に思わぬ場所に転がったりしないため効率的な作業を行うことができる。

【0205】

第 5 の実施形態では、ロボットによる把持に失敗した場合、ロボットが対象物体を把持するときに枠に干渉しにくい領域に対象物体を返還する。このようにすると、ロボットにより対象物体を把持するときにパレットの枠にロボットが干渉しないため効率的な作業を行うことができる。

40

【0206】

第 6 の実施形態では、把持候補物体の位置姿勢をロボットに装着したセンサを利用して計測し、組み付け状態を組み付け対象物体の近くに固定的に配置したセンサを利用して計測する。ロボットによる組み付けに失敗したと判断した場合は、対象物体を元あった状態に基づき良い状態で返還する。このようにすることで把持対象の候補を減らさずに効率的な作業を行うことができる。

【0207】

<定義>

50

領域状態は、対象物体が存在する領域内の状態を示すものであればどのようなものであってもよい。第1～5の実施形態ではそれぞれ、領域状態の一例として、把持候補物体の位置姿勢、特徴点やエッジなどの2次元画像特徴、距離計測状態などの3次元情報、パレット内の距離分布、パレットの枠の位置情報、を説明した。

【0208】

また、上記のセンサ部101は、パレット内の領域状態の計測を行うためのものであればどのようなものであってもよい。例としては、第1の実施形態の固定的に配置されたセンサであってもよいし、第6の実施形態のロボットに装着したセンサであってもよい。

【0209】

また、上記のセンサ部102は、ロボットによる把持状態の計測もしくは組み付け状態の計測を行うためのものであればどのようなものであってもよい。例としては、第1の実施形態のロボットに装着したセンサであってもよいし、第6の実施形態の固定的に配置されたセンサであってもよい。また、第7の実施形態に示したように、ロボットの制御パラメータを利用して組み付け状態を計測してもよい。

【0210】

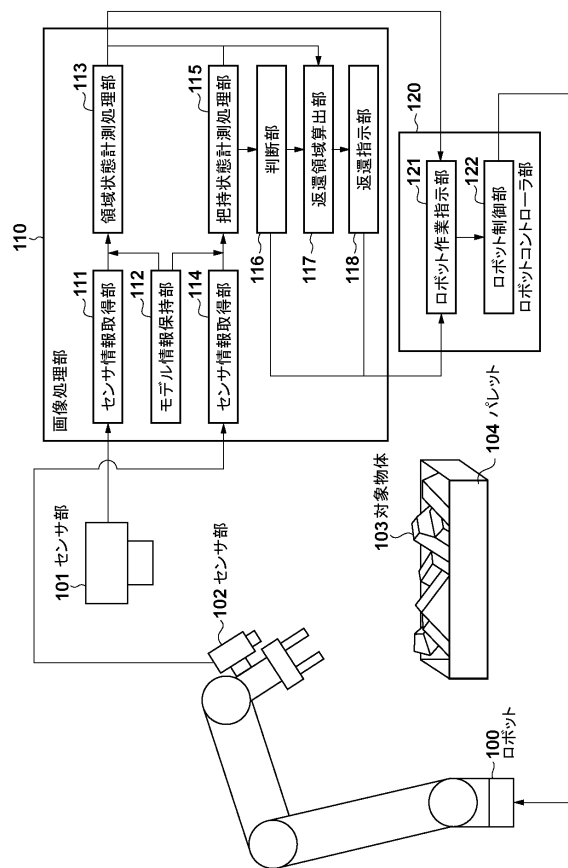
(その他の実施例)

また、本発明は、以下の処理を実行することによっても実現される。即ち、上述した実施形態の機能を実現するソフトウェア(プログラム)を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータ(またはCPUやMPU等)がプログラムを読み出して実行する処理である。

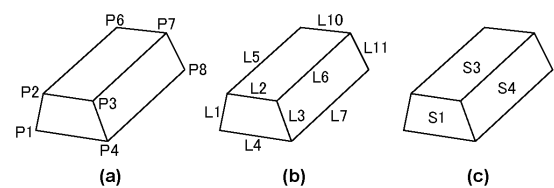
10

20

【図1】



【図2】



点	x	y	z
P1	0	0	0
P2	20	140	0
P3	80	140	0
P4	100	0	0
P5	0	0	600
P6	20	140	600
P7	80	140	600
P8	100	0	600

(d)

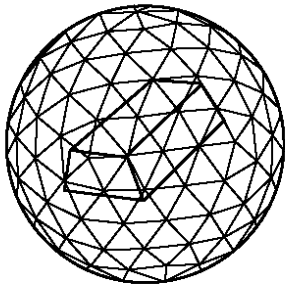
線	両端の2点
L1	P1, P2
L2	P2, P3
L3	P3, P4
L4	P1, P4
L5	P2, P6
L6	P3, P7
L7	P4, P8
L8	P1, P5
L9	P5, P6
L10	P6, P7
L11	P7, P8
L12	P5, P8

(e)

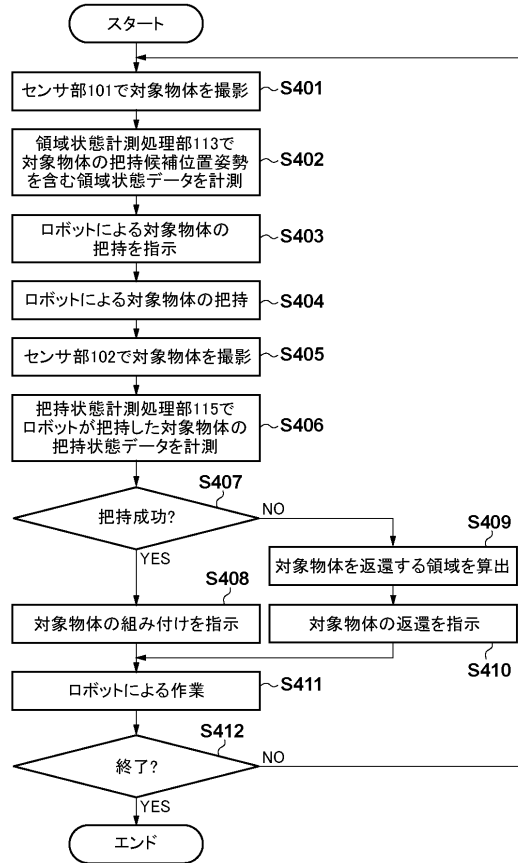
面	囲まれる線	法線(x, y, z)
S1	L1, L2, L3, L4	(0, 0, -1)
S2	L1, L5, L8, L9	(-0.88, 0.12, 0)
S3	L2, L5, L6, L10	(0, 1, 0)
S4	L3, L6, L7, L11	(0.88, 0.12, 0)
S5	L4, L7, L8, L12	(0, -1, 0)
S6	L9, L10, L11, L12	(0, 0, 1)

(f)

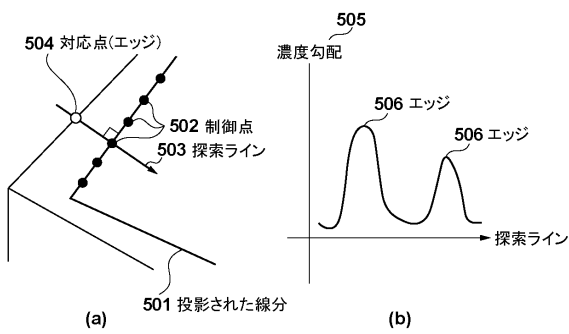
【図3】



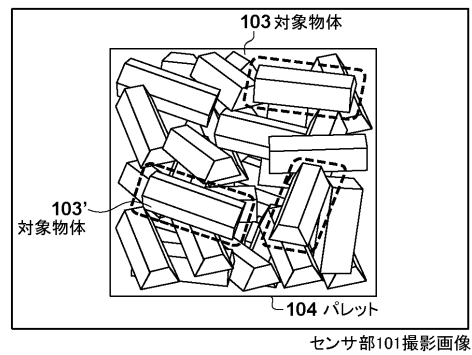
【図4】



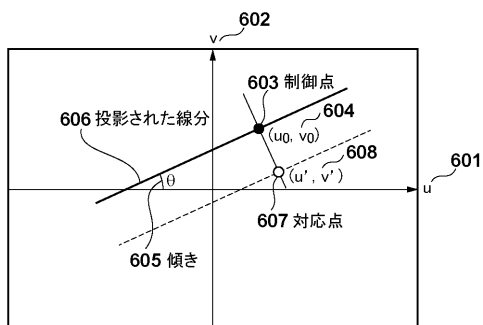
【図5】



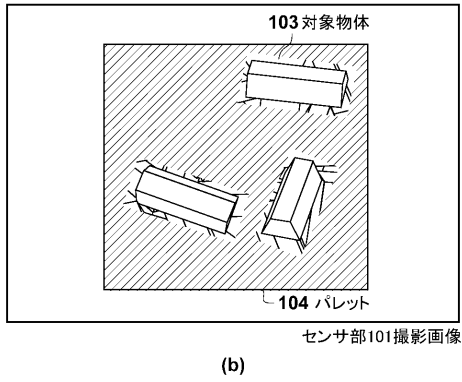
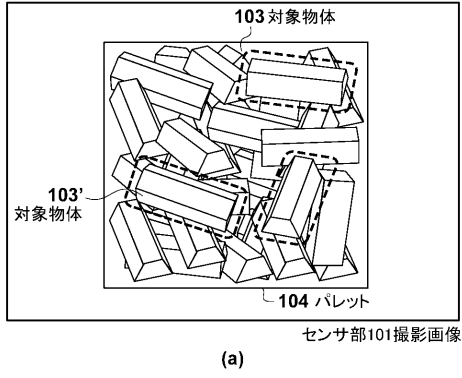
【図7】



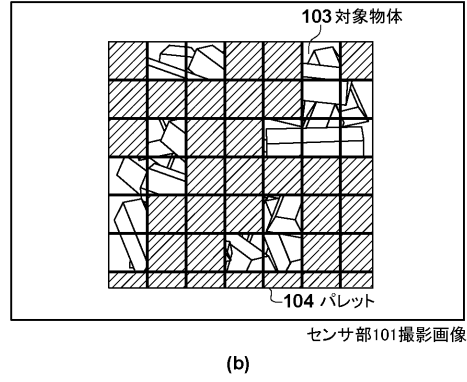
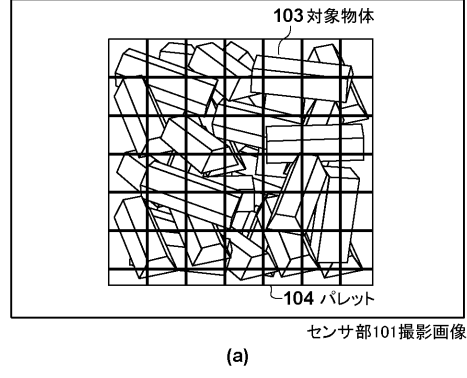
【図6】



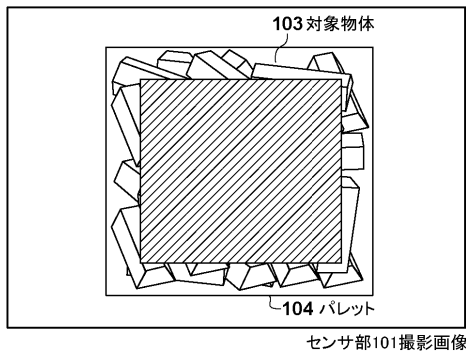
【図8】



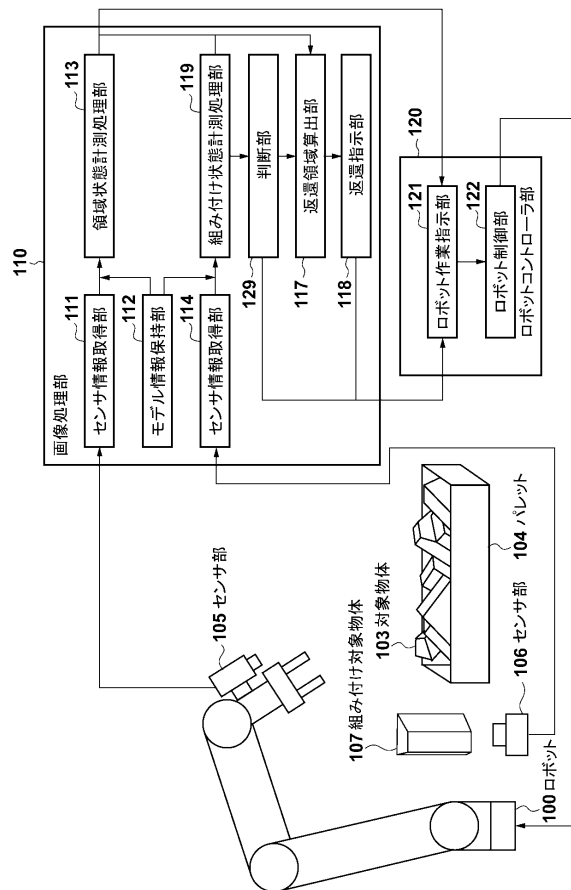
【図9】



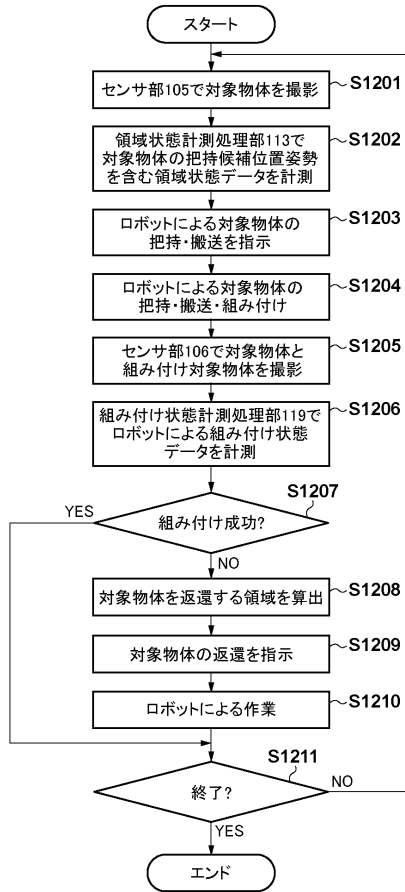
【図10】



【図11】



【図 12】



フロントページの続き

(72)発明者 鈴木 雅博

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 藤島 孝太郎

(56)参考文献 特開2001-179669(JP,A)

特開2011-131300(JP,A)

特開平11-204546(JP,A)

特開2012-024903(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J 1/00 - 21/02

B23P 19/00 - 21/00