

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7299442号
(P7299442)

(45)発行日 令和5年6月27日(2023.6.27)

(24)登録日 令和5年6月19日(2023.6.19)

(51)国際特許分類		F I		
G 0 1 C	15/06 (2006.01)	G 0 1 C	15/06	T
G 0 1 C	11/04 (2006.01)	G 0 1 C	11/04	
G 0 1 B	11/00 (2006.01)	G 0 1 B	11/00	H
B 2 5 J	19/04 (2006.01)	B 2 5 J	19/04	

請求項の数 19 (全25頁)

(21)出願番号	特願2023-517780(P2023-517780)	(73)特許権者	390008235 ファナック株式会社 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3 5 8 0 番地
(86)(22)出願日	令和4年11月17日(2022.11.17)	(74)代理人	100099759 弁理士 青木 篤
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/042699	(74)代理人	100123582 弁理士 三橋 真二
審査請求日	令和5年3月16日(2023.3.16)	(74)代理人	100112357 弁理士 廣瀬 繁樹
早期審査対象出願		(74)代理人	100169856 弁理士 尾山 栄啓
		(72)発明者	並木 勇太 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3 5 8 0 番地 ファナック株式会社内 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 制御装置、3次元位置計測システム、及びプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ワーク上に存在する互いの位置関係が既知の3つ以上の検出対象を視覚センサにより撮像した画像に基づき検出された検出対象の中から選択した組み合わせを複数生成する組合せ生成部と、

生成された前記複数の組み合わせのそれぞれについて計算した、前記検出対象の検出位置の理想位置からの位置ずれを表す指標に基づいて、前記複数の組み合わせから1以上の組み合わせを選択する選択部と、

選択された前記1以上の組み合わせから前記ワークの3次元位置を決定する3次元位置決定部と、

を備える制御装置。

【請求項2】

前記組合せ生成部は、前記検出された検出対象から、全ての可能な前記組み合わせを生成する、請求項1に記載の制御装置。

【請求項3】

前記組合せ生成部は、前記検出された検出対象から所定数の検出対象を除外または選択して前記組み合わせを複数生成する、請求項1に記載の制御装置。

【請求項4】

前記組合せ生成部は、前記検出された検出対象から生成可能な前記組み合わせからランダムに選択を行うことで、前記組み合わせを複数生成する、請求項1に記載の制御装置。

【請求項 5】

前記選択部は、生成された前記複数の組み合わせの各々について、

(1) 一つの組み合わせから求められる前記ワークの3次元位置を位置A、前記ワーク上のi番目の前記検出対象の設計上の位置を P_i とすると、前記ワーク上のi番目の前記検出対象の理想位置を $A \cdot P_i$ として求め、

(2) 当該一つの組み合わせにおけるi番目の前記検出対象の検出位置 P'_i と $A \cdot P_i$ との差 K_i を当該一つの組み合わせ中の検出対象の各々について求め、当該求められた差 K_i に基づき前記指標を求める、

請求項1から4のいずれか一項に記載の制御装置。

【請求項 6】

前記選択部は、前記一つの組み合わせにおける検出対象の数を n とすると、前記差 K_i の平均値である K_i / n を前記指標として求める、請求項5に記載の制御装置。

【請求項 7】

前記選択部は、生成された前記複数の組み合わせの各々について、

(1) 一つの組み合わせから求められる前記ワークの3次元位置を位置A、前記ワーク上のi番目の前記検出対象の設計上の位置を P_i とすると、前記ワーク上のi番目の前記検出対象の理想位置を $A \cdot P_i$ として求め、

(2) 当該一つの組み合わせにおける前記視覚センサからi番目の検出対象の検出位置への視線 L_i と、 $A \cdot P_i$ との距離 D_i を当該一つの組み合わせ中の検出対象の各々について求め、当該求められた距離 D_i に基づき前記指標を求める、

請求項1から4のいずれか一項に記載の制御装置。

【請求項 8】

前記選択部は、前記一つの組み合わせにおける検出対象の数を n とすると、前記距離 D_i の平均値である D_i / n を前記指標として求める、請求項7に記載の制御装置。

【請求項 9】

前記選択部は、前記指標の大きさが小さいほど精度が良いとの選択基準を用いて、前記1以上の組み合わせの選択を行う、請求項1から4のいずれか一項に記載の制御装置。

【請求項 10】

前記選択部は、前記複数の組み合わせのそれぞれについて計算した前記指標と、前記複数の組み合わせの各々における検出対象の数とに基づいて、前記複数の組み合わせから1以上の組み合わせを選択する、請求項1から4のいずれか一項に記載の制御装置。

【請求項 11】

前記選択部は、前記複数の組み合わせの各々に関し、

(1) 前記指標の大きさが小さいほど精度が良い、及び

(2) 組み合わせにおける検出対象の数が多いほど精度が良い、

との選択基準を用いて、前記1以上の組み合わせの選択を行う、請求項10に記載の制御装置。

【請求項 12】

前記3次元位置決定部は、選択された前記1以上の組み合わせのそれぞれにより得られる前記ワークの3次元位置の統計量に基づき、前記ワークの3次元位置を決定する、請求項1から4のいずれか一項に記載の制御装置。

【請求項 13】

前記3次元位置決定部は、選択された前記1以上の組み合わせのそれぞれにより得られる前記ワークの3次元位置の平均値又は中央値を前記ワークの3次元位置として決定する、請求項12に記載の制御装置。

【請求項 14】

前記選択部により選択された前記1以上の組み合わせに含まれている検出対象に基づいて、前記組合せ生成部が3つ以上の検出対象を選択した複数の組み合わせを再度生成し、

再度生成された前記複数の組み合わせの各々について計算した前記指標に基づいて、前記選択部が、再度生成された前記複数の組み合わせから1以上の組み合わせを再度選択す

10

20

30

40

50

ること、

からなる動作を 1 以上の回数実行する、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の制御装置。

【請求項 1 5】

前記組合せ生成部が、前記選択部により選択された前記 1 以上の組み合わせから、ある検出位置について算出されている前記位置ずれを表す指標が他の検出位置について算出されている前記位置ずれを表す指標よりも大きいという基準を満たす 1 以上の検出位置を削除することで、検出対象を含む複数の組み合わせを再度生成し、再度生成された各組み合わせにおける前記検出対象について算出された前記位置ずれを表す指標が所定の条件を満たすまで 1 以上の回数実行する、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の制御装置。

【請求項 1 6】

前記所定の条件は、再度生成された各組み合わせにおける前記検出対象についての前記位置ずれを表す指標の平均値、又は、当該指標の値が所定の値以下であることである、請求項 1 5 に記載の制御装置。

【請求項 1 7】

視覚センサと、

ワーク上に存在する互いの位置関係が既知の 3 つ以上の検出対象を前記視覚センサにより撮像した画像に基づき検出する検出部と、

検出された検出対象の中から、検出対象を選択した組み合わせを複数生成する組合せ生成部と、

生成された前記複数の組み合わせのそれぞれについて計算した、前記検出対象の検出位置の理想位置からの位置ずれを表す指標に基づいて、前記複数の組み合わせから 1 以上の組み合わせを選択する選択部と、

選択された前記 1 以上の組み合わせから前記ワークの 3 次元位置を決定する 3 次元位置決定部と、

を備える 3 次元位置計測システム。

【請求項 1 8】

前記視覚センサを搭載したロボットと、

前記ロボットを制御して前記視覚センサを前記 3 つ以上の前記検出対象をそれぞれ撮像するための撮像位置に位置付ける動作制御部と、を更に備える請求項 1 7 に記載の 3 次元位置計測システム。

【請求項 1 9】

コンピュータのプロセッサに、

ワーク上に存在する互いの位置関係が既知の 3 つ以上の検出対象を視覚センサにより撮像した画像に基づき検出する手順と、

検出された検出対象の中から、検出対象を選択した組み合わせを複数生成する手順と、

生成された前記複数の組み合わせのそれぞれについて計算した、前記検出対象の検出位置の理想位置からの位置ずれを表す指標に基づいて、前記複数の組み合わせから 1 以上の組み合わせを選択する手順と、

選択された前記 1 以上の組み合わせから前記ワークの 3 次元位置を決定する手順と、を実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、制御装置、3次元位置計測システム、及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

視覚センサを用いて 3 次元物体の 3 次元位置を計測するための様々な計測システムが提案されている。例えば、特許文献 1 - 2 は、3 次元物体における互いに位置関係が既知の 3 つの検出対象を 3 台のカメラでそれぞれ検出し、当該 3 つの検出対象の検出位置から 3 次元物体の 3 次元位置を計測する方法を記載する。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

なお、3次元位置計測に関連し、特許文献3は、ステレオカメラを用いた3次元認識処理に用いられる3次元モデル作成する方法を記載する。特許文献4は、コンベヤによって搬送される物品の位置及び姿勢の3次元計測を行う方法の例を記載する。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 文献 】 特開平7 - 1 3 6 1 3 号公報

特開昭62 - 5 4 1 1 5 号公報

特開2010 - 1 2 1 9 9 9 号公報

特開2019 - 1 2 8 2 7 4 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

特許文献1及び2に記載のように3次元物体上の3つの検出対象を検出し、当該3つの検出対象の検出位置により3次元物体の3次元位置を求める構成の場合、計測結果には、検出対象自体の位置の誤差や、検出対象の検出位置における計測誤差が含まれ得る。よって、3つの検出対象の検出位置による3次元物体の計測では十分な精度が得られない場合が有り得る。また、3つの検出対象のうち、一部の誤差が大きい場合、その誤差に引きずられて全体の誤差、すなわち、3次元物体の3次元位置計測結果が大きくなってしまふことも想定され得る。

【 0 0 0 6 】

検出対象の検出位置に含まれ得る誤差による影響を低減でき、それにより3次元物体の3次元位置の計測の精度を向上し得る技術が望まれている。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 7 】

本開示の一態様は、ワーク上に存在する互いの位置関係が既知の3つ以上の検出対象を視覚センサにより撮像した画像に基づき検出された検出対象の中から選択した組み合わせを複数生成する組合せ生成部と、生成された前記複数の組み合わせのそれぞれについて計算した、前記検出対象の検出位置の理想位置からの位置ずれを表す指標に基づいて、前記複数の組み合わせから1以上の組み合わせを選択する選択部と、選択された前記1以上の組み合わせから前記ワークの3次元位置を決定する3次元位置決定部と、を備える制御装置である。

【 0 0 0 8 】

添付図面に示される本発明の典型的な実施形態の詳細な説明から、本発明のこれらの目的、特徴および利点ならびに他の目的、特徴および利点がさらに明確になるであろう。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 9 】

【 図1 】 一実施形態に係るロボット制御装置を含むロボットシステムの機器構成を表す図である。

【 図2 】 ワークの実例としての車体及び検出対象を示す図である。

【 図3 】 ビジョン座標系及びワーク上の零偏差位置にある各標点に割り当てたセンサ座標系を示す図である。

【 図4 】 センサ座標系及び標点の画像平面への射影を示す図である。

【 図5 】 ロボット制御装置及び画像処理装置の機能ブロック図である。

【 図6 】 3次元位置計測処理の基本動作を表すフローチャートである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 0 】

次に、本開示の実施形態について図面を参照して説明する。参照する図面において、同様の構成部分または機能部分には同様の参照符号が付けられている。理解を容易にするた

10

20

30

40

50

めに、これらの図面は縮尺を適宜変更している。また、図面に示される形態は本発明を実施するための一つの例であり、本発明は図示された形態に限定されるものではない。

【0011】

図1は一実施形態に係るロボット制御装置50を含むロボットシステム100の機器構成を表す図である。図1に示すように、ロボットシステム100は、ロボット10と、ロボット10の手先部に搭載した視覚センサ70と、ロボット10を制御するロボット制御装置50と、教示操作盤40と、画像処理装置20とを含む。教示操作盤40及び画像処理装置20は、ロボット制御装置50に接続されている。視覚センサ70は、画像処理装置20に接続されている。本実施形態に係るロボットシステム100は、台1（搬送装置上のキャリッジ、架台など）に置かれた3次元物体であるワークW上の3つ以上の検出対象を検出することで、ワークWの3次元位置を高い精度で計測することができる3次元位置計測システムとして構成される。

10

【0012】

ロボット10は、垂直多関節ロボットであるものとする。なお、ロボット10として、水平多関節ロボット、パラレルリンク型ロボット、双腕ロボット等、作業対象に応じて他のタイプのロボットが用いられても良い。ロボット10は、手首部に取り付けられたエンドエフェクタによって所望の作業を実行することができる。エンドエフェクタは、用途に応じて交換可能な外部装置であり、例えば、ハンド、溶接ガン、工具等である。図1では、エンドエフェクタとしてのハンド33が用いられている例を示す。

【0013】

ロボット制御装置50は、動作プログラム或いは教示操作盤40からの指令に従ってロボット10の動作を制御する。ロボット制御装置50は、プロセッサ51（図5）、メモリ（ROM、RAM、不揮発性メモリ等）、記憶装置、操作部、入出力インタフェース、ネットワークインタフェース等を有する一般的なコンピュータとしてのハードウェア構成を有していても良い。

20

【0014】

画像処理装置20は、視覚センサ70を制御する機能と、対象物の検出処理等を含む画像処理を行う機能とを有する。画像処理装置20は、プロセッサ、メモリ（ROM、RAM、不揮発性メモリ等）、記憶装置、操作部、表示部、入出力インタフェース、ネットワークインタフェース等を有する一般的なコンピュータとしてのハードウェア構成を有していても良い。

30

【0015】

なお、図1では、視覚センサ70の制御及び画像処理の機能を担う画像処理装置を独立した装置としてロボットシステム100内に配置する構成例を記載しているが、画像処理装置20としての機能がロボット制御装置50内に一体として組み込まれていても良い。

【0016】

教示操作盤40は、ロボット10の教示や各種設定を行うための操作端末として用いられる。教示操作盤40として、タブレット端末等により構成された教示装置を用いても良い。教示操作盤40は、プロセッサ、メモリ（ROM、RAM、不揮発性メモリ等）、記憶装置、操作部、表示部41（図5）、入出力インタフェース、ネットワークインタフェース等を有する一般的なコンピュータとしてのハードウェア構成を有していても良い。

40

【0017】

3次元位置計測の対象であるワークWは、例えば図2に示すような車体である。ワークWには、互いの位置関係が既知の位置に3つ以上の検出対象（例えば円形孔M）が設けられている。これら検出対象は、例えば車体の底面に配置される。ロボットシステム100は、視覚センサ70によりこの3つ以上の検出対象の位置を検出することで、ワークW全体の3次元位置を算出する。ロボットシステム100は、ワークWの3次元位置を得て、ワークWに対する各種作業を適切に実行することができる。

【0018】

図1では、視覚センサ70をロボット10の手先に搭載する場合の構成例を示している

50

。この構成では、ロボット10により視覚センサ70を移動させて、視覚センサ70を、検出対象(円形孔M)を撮像するためのそれぞれ撮像位置に位置付け、検出対象を撮像して検出するようにする。基準位置にあるワークWの各検出対象を撮像可能な撮像位置を予めロボット10に教示しておいても良い。

【0019】

視覚センサをロボット10に搭載する構成に代えて、作業空間に固定配置した1以上の視覚センサにより検出対象を撮像して検出する構成としても良い。この場合、ワーク上の複数の検出対象を、それぞれ撮像する複数の視覚センサを配置しても良い。或いは、一つの視覚センサが2以上の検出対象を撮像するような配置としても良い。後者の場合、視覚センサの配置数は、検出対象の合計数よりも少なくすることができる。

10

【0020】

視覚センサ70による検出対象の撮像位置(姿勢)に関しては、視覚センサのどの撮像位置(姿勢)における画像平面も互いに平面になるようにしてはならないという制約に従うようにする。なお、どの画像平面に対する法線ベクトルも互いにかなりの角度を成すようにすることが好ましい。

【0021】

ロボットシステム100(ロボット制御装置50)は、ワークW上の3つ以上の検出対象の位置を検出し、その検出位置に基づきワークWの3次元位置を求める。以下では、基本的な検出手法である、ワーク上の3つの検出対象の位置を検出する手法について説明した上で、それを4つ以上の検出対象に拡張する手法を述べる。その上で、3つ以上の検出対象の検出位置に基づく3次元物体の3次元位置の決定について説明する。

20

【0022】

ワークW上の3つの検出対象を検出しワークの3次元位置を求める手法について説明する。ワークW上の3つの検出対象の位置を検出する「位置検出機能」は、画像処理装置20の画像処理部(検出部)121(図5)の機能として提供されても良い。図3に示すように、ワークWは、3個の既知点(すなわち検出対象)を備えた剛体と考えることができる。ワークWが零偏差位置、つまり、理想的公称位置にあるとき、ワークW上、もしくはその近傍の原点においたローカル座標系であるビジョン座標系(以下、VCSとも記載する)を考慮する。零偏差を与える位置にある各検出対象(以下、標点とも記載する)にそれぞれ対応する点において、それらの点を始点として3本の直交するベクトルを立て、それらベクトルの大きさを単位長に、またその方向をビジョン座標系VCSの3個のベクトルの方向に平行にする。3本の単位ベクトルが各点において作る小座標系をセンサ座標系1、2、3(それぞれSCS1、SCS2、SCS3とも記載する)と称することとする。これら3つのセンサ座標系の変換は不変である。

30

【0023】

ビジョン座標系VCSは、視覚センサ70の撮像位置(姿勢)に対して固定されている関係にあるものとする。ワークWに固定した座標系をワーク座標系(BCSとも記載する)と称する。ワークWがその零偏差位置にあるとき、各標点は3つのセンサ座標系の各原点に正確に対応する。

【0024】

ワークWがその零偏差位置から移動するとき、ワークWが受ける剛体の運動は、VCSをBCSに関係づける変換[T]によって完全に決定される。この変換は、VCSに関して定義された変換であって、この変換によってBCSの位置と方位、従ってワークWの位置が完全に決定される。

40

【0025】

VCSにおける標点の零偏差位置座標及びこの標点の変位したときに占める位置座標が与えられれば、零偏差位置座標と変位した位置座標とはこの変換[T]によって直接関係付けられることとなる。各撮像位置における視覚センサ70の視野内で標点を検出することによって変換[T]を決定できるようにすることが以下で説明する3次元位置決定機能の目的である。

50

【 0 0 2 6 】

ワークWが若干の偏差を持つ位置にあるとき、画像平面上の標点はSCS座標系の原点から離れた位置に移動している。図4に、この場合の、SCS1座標系及び標点 P_1 の画像平面への射影を示す。一般に画像平面上への3個以上の射影を較正データと組み合わせることによって、3次元物体の公称位置からの偏差の6個の自由度を決定することができる。点 P_1 がSCS1座標系のX-Y平面上にあるものとの仮定により、各カメラ位置における撮像画像から互いに独立して点 P_1 の位置を解くことができる。ベクトルA、B、及びPを以下に示すように定義する。uは画像平面上での横軸、vは画像平面上での縦軸である。ハット付きu、vは、それぞれ、画像平面の横軸、縦軸方向の単位ベクトルである。

【 0 0 2 7 】

【数1】

$$\begin{aligned} P &= P_1 - O_1 = (u_{P_1} - u_{O_1})\hat{u} + (v_{P_1} - v_{O_1})\hat{v} \\ A &= A_1 - O_1 = (u_{A_1} - u_{O_1})\hat{u} + (v_{A_1} - v_{O_1})\hat{v} \\ B &= B_1 - O_1 = (u_{B_1} - u_{O_1})\hat{u} + (v_{B_1} - v_{O_1})\hat{v} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= (u_{P1O1})\hat{u} + (v_{P1O1})\hat{v} \\ A &= (u_{A1O1})\hat{u} + (v_{A1O1})\hat{v} \\ B &= (u_{B1O1})\hat{u} + (v_{B1O1})\hat{v} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} O_1 &= (u_{O1})\hat{u} + (v_{O1})\hat{v} \\ P_1 &= (u_{P1})\hat{u} + (v_{P1})\hat{v} \\ A_1 &= (u_{A1})\hat{u} + (v_{A1})\hat{v} \\ B_1 &= (u_{B1})\hat{u} + (v_{B1})\hat{v} \end{aligned}$$

【 0 0 2 8 】

ベクトルAとベクトルBは、SCS1座標系におけるX方向の単位ベクトルとY方向の単位ベクトルの画像平面への射影である。点 P_1 のX座標とY座標（つまり、 x_1 と y_1 ）は以下に示す式(1)から(4)により与えられる。

【 0 0 2 9 】

【数2】

10

20

30

40

50

$$P = x_1 A + y_1 B \quad \dots (1)$$

$$P = (u_{P101})\hat{u} + (v_{P101})\hat{v} \quad \dots (2)$$

$$P = x_1 [(u_{A101})\hat{u} + (v_{A101})\hat{v}] + y_1 [(u_{B101})\hat{u} + (v_{B101})\hat{v}] \quad \dots (3)$$

$$\left. \begin{aligned} u_{P101} &= x_1 u_{A101} + y_1 u_{B101} \\ v_{P101} &= x_1 v_{A101} + y_1 v_{B101} \end{aligned} \right\} \dots (4) \quad 10$$

$$x_1 = \frac{\begin{vmatrix} u_{P101} & u_{B101} \\ v_{P101} & v_{B101} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} u_{A101} & u_{B101} \\ v_{A101} & v_{B101} \end{vmatrix}} \quad y_1 = \frac{\begin{vmatrix} u_{A101} & u_{P101} \\ v_{A101} & v_{P101} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} u_{A101} & u_{B101} \\ v_{A101} & v_{B101} \end{vmatrix}}$$

【 0 0 3 0 】

20

図 4 を参照し、より一般化した場合は、以下の式 (5) から (9) によって表される。
この場合は、z は任意の値を取り得るものと仮定される。

【 0 0 3 1 】

【数 3】

$$\begin{aligned} O'_1 &= O_1 + z_1 (C_1 - O_1) \\ &= (u_O + z_1 u_{cO})\hat{u} + (v_O + z_1 v_{cO})\hat{v} \quad \dots (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P' &= P_1 - O_1 \\ &= (u_P - u_O - z_1 u_{cO})\hat{u} \\ &\quad + (v_P - v_O - z_1 v_{cO})\hat{v} \quad \dots (6) \end{aligned} \quad 30$$

$$A = A_1 - O_1 = (u_{AO})\hat{u} + (v_{AO})\hat{v} \quad \dots (7)$$

$$B = B_1 - O_1 = (u_{BO})\hat{u} + (v_{BO})\hat{v} \quad \dots (8)$$

$$P' = x_1 A + y_1 B \quad \dots (9) \quad 40$$

【 0 0 3 2 】

これらの式 (5) から (9) から、式 (1 0) から (1 1) を得て、x1、y1をz1で表す解を得る。

【 0 0 3 3 】

【数 4】

50

$$\begin{aligned}
 (u_P - u_O - z_1 u_{CO})\hat{u} + (v_P - v_O - z_1 v_{CO})\hat{v} \\
 = x_1 [(u_{AO})\hat{u} + (v_{AO})\hat{v}] \\
 + y_1 [(u_{BO})\hat{u} + (v_{BO})\hat{v}] \quad \dots (10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u_{PO} - z_1 u_{CO} &= x_1 u_{AO} + y_1 u_{BO} \\
 v_{PO} - z_1 v_{CO} &= x_1 v_{AO} + y_1 v_{BO} \quad \dots (11)
 \end{aligned}$$

10

$$x_1 = \frac{\begin{vmatrix} (u_{PO} - z_1 u_{CO}) & u_{BO} \\ (v_{PO} - z_1 v_{CO}) & v_{BO} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} u_{AO} & u_{BO} \\ v_{AO} & v_{BO} \end{vmatrix}}$$

$$y_1 = \frac{\begin{vmatrix} u_{AO} & (u_{PO} - z_1 u_{CO}) \\ v_{AO} & (v_{PO} - z_1 v_{CO}) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} u_{AO} & u_{BO} \\ v_{AO} & v_{BO} \end{vmatrix}}$$

20

【 0 0 3 4 】

上記 x_1 、 y_1 は、次のように書き直される。

【 0 0 3 5 】

【数 5】

$$\left. \begin{aligned}
 x_1 &= \alpha_1 z_1 + \beta_1 \\
 y_1 &= \gamma_1 z_1 + \delta_1
 \end{aligned} \right\} \dots (12)$$

30

【 0 0 3 6 】

ここで、 α_1 、 β_1 、 γ_1 、 δ_1 は、以下の式で与えられる定数である。

【 0 0 3 7 】

【数 6】

$$\alpha_1 = \frac{-\begin{vmatrix} u_{CO} & u_{BO} \\ v_{CO} & v_{BO} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} u_{AO} & u_{BO} \\ v_{AO} & v_{BO} \end{vmatrix}} \quad \beta_1 = \frac{\begin{vmatrix} u_{PO} & u_{BO} \\ v_{PO} & v_{BO} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} u_{AO} & u_{BO} \\ v_{AO} & v_{BO} \end{vmatrix}}$$

$$\gamma_1 = \frac{-\begin{vmatrix} u_{AO} & u_{CO} \\ v_{AO} & v_{CO} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} u_{AO} & u_{BO} \\ v_{AO} & v_{BO} \end{vmatrix}} \quad \delta_1 = \frac{\begin{vmatrix} u_{AO} & u_{PO} \\ v_{AO} & v_{PO} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} u_{AO} & u_{BO} \\ v_{AO} & v_{BO} \end{vmatrix}}$$

40

50

【 0 0 3 8 】

式(12)は、 x_1 と y_1 が共に z_1 の線形関数であることを示す。同様の方程式を他の2つの画像平面についても導出する。方程式の完全な組は、式(13)から(15)によって与えられる。式(13)から(15)に現れる諸定数は、校正治具を用いた校正により取得することができる。校正治具として、例えば、SCS座標系の互いに直交する座標軸に対応する稜線及び目盛りを有するキューブを、3本の稜線がSCS座標系の互いに直交する座標軸に平行になるように位置付ける。そして、視覚センサ70により、標点(SCS座標系)を撮像する位置姿勢でキューブを撮像し、キューブの実寸法に関する情報を用い、SCS座標系の X, Y, Z 軸の単位ベクトルが画像上でどのようなベクトルに相当するかについての情報(校正データ)を得ることができる。このような校正データは、予め画像処理装置20の記憶部122(図5)等に保存しておく。

10

【 0 0 3 9 】

【数7】

$$\begin{aligned} x_1 &= \alpha_1 z_1 + \beta_1 \\ y_1 &= \gamma_1 z_1 + \delta_1 \end{aligned} \quad \dots (13)$$

$$\begin{aligned} x_2 &= \alpha_2 z_2 + \beta_2 \\ y_2 &= \gamma_2 z_2 + \delta_2 \end{aligned} \quad \dots (14)$$

20

$$\begin{aligned} x_3 &= \alpha_3 z_3 + \beta_3 \\ y_3 &= \gamma_3 z_3 + \delta_3 \end{aligned} \quad \dots (15)$$

【 0 0 4 0 】

方程式(13)から(15)は9個の未知数を持つ6個の一次方程式である。これらの方程式を解くために追加の拘束条件として、ワークが剛体であることが考慮される。すなわち、ここでは、ワーク上の標点間の距離は一定であるという条件が用いられる。各SCS座標系の原点を、それぞれ (X_{01}, Y_{01}, Z_{01}) 、 (X_{02}, Y_{02}, Z_{02}) 、 (X_{03}, Y_{03}, Z_{03}) と表し、変位後の各標点の座標は、 $P_1(X_1, Y_1, Z_1)$ 、 $P_2(X_2, Y_2, Z_2)$ 、 $P_3(X_3, Y_3, Z_3)$ と表す。3つのSCS座系の原点間の距離は、以下のように表され、また、変位後の各標点間の距離は式(16)のように与えられる。

30

【 0 0 4 1 】

【数8】

$$\begin{aligned} d_{12} &= |\overline{O_1 O_2}| = |\overline{P_1 P_2}| \\ d_{23} &= |\overline{O_2 O_3}| = |\overline{P_2 P_3}| \\ d_{31} &= |\overline{O_3 O_1}| = |\overline{P_3 P_1}| \end{aligned}$$

40

$$\begin{aligned} d_{12} &= [(x_{01} - x_{02})^2 + (y_{01} - y_{02})^2 + (z_{01} - z_{02})^2]^{1/2} \\ d_{12} &= [x_{012}^2 + y_{012}^2 + z_{012}^2]^{1/2} \\ d_{23} &= [x_{023}^2 + y_{023}^2 + z_{023}^2]^{1/2} \\ d_{31} &= [x_{031}^2 + y_{031}^2 + z_{031}^2]^{1/2} \end{aligned}$$

50

【 0 0 4 2 】

【数 9】

$$\left. \begin{aligned} d_{12}^2 &= (x_{012} + x_1 - x_2)^2 + (y_{012} + y_1 - y_2)^2 \\ &\quad + (z_{012} + z_1 - z_2)^2 \\ d_{23}^2 &= (x_{023} + x_2 - x_3)^2 + (y_{023} + y_2 - y_3)^2 \\ &\quad + (z_{023} + z_2 - z_3)^2 \\ d_{31}^2 &= (x_{031} + x_3 - x_1)^2 + (y_{031} + y_3 - y_1)^2 \\ &\quad + (z_{031} + z_3 - z_1)^2 \end{aligned} \right\} \dots (16) \quad 10$$

【 0 0 4 3 】

方程式 (1 3) から (1 5) を方程式 (1 6) に代入することによって、下記の方程式の第 1 の組 (式 (1 7)) を得る。また、それらの方程式を書き換えて方程式の第 2 の組 (式 (1 8)) を得る。これらの方程式において k, l, m は定数である。

【 0 0 4 4 】

【数 1 0】

$$\begin{aligned} &(x_{012} + \alpha_1 z_1 + \beta_1 - \alpha_2 z_2 - \beta_2)^2 \\ &\quad + (y_{012} + \gamma_1 z_1 + \delta_1 - \gamma_2 z_2 - \delta_2)^2 \\ &\quad + (z_{012} + z_1 - z_2)^2 = d_{12}^2 \\ &(x_{023} + \alpha_2 z_2 + \beta_2 - \alpha_3 z_3 - \beta_3)^2 \\ &\quad + (y_{023} + \gamma_2 z_2 + \delta_2 - \gamma_3 z_3 - \delta_3)^2 \\ &\quad + (z_{023} + z_2 - z_3)^2 = d_{23}^2 \\ &(x_{031} + \alpha_3 z_3 + \beta_3 - \alpha_1 z_1 - \beta_1)^2 \\ &\quad + (y_{031} + \gamma_3 z_3 + \delta_3 - \gamma_1 z_1 - \delta_1)^2 \\ &\quad + (z_{031} + z_3 - z_1)^2 = d_{31}^2 \end{aligned} \quad 20 \quad 30$$

... (17)

【 0 0 4 5 】

【数 1 1】

$$\begin{aligned} k_{11}z_1^2 + k_{10}z_1 + k_{20}z_2 + k_{12}z_1z_2 + k_{22}z_2^2 + k_{00} &= 0 \\ l_{22}z_2^2 + l_{20}z_2 + l_{30}z_3 + l_{23}z_2z_3 + l_{33}z_3^2 + l_{00} &= 0 \\ m_{33}z_3^2 + m_{30}z_3 + m_{10}z_1 + m_{31}z_3z_1 + m_{11}z_1^2 + m_{00} &= 0 \end{aligned} \quad 40$$

... (18)

【 0 0 4 6 】

上記第 2 の方程式の組 (式 (1 8)) は、例えば、ニュートン (Newton) の繰り返し法を用いることで解かれる。これらの値が求まったら、それらの値を式 (1 3) から (1 5) に代入し x_1, x_2, x_3 及び y_1, y_2, y_3 を得る。これによって得られる (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) 、 (x_3, y_3, z_3) は、各標点の変位後の、各 SCS 座標系上での位置である。これらは、VSC 上における値に変換され得る。これにより、VCS を BCS に関係づける変換 [T] を得ることができる。すなわち、変位後のワーク W の 3 次元位置が得られることとなる。

【 0 0 4 7 】

なお、上記手法では、3つの標点が画像平面上へ正射影されることを仮定している。実射影は、透視投影に近いものであることを考慮して、写像関係の誤差を補正する処理がなされても良い。この誤差を補償するために、以下の方程式によって与えられるような写像関係を実座標軸とその各射影軸との間に確立する。各軸に対するこの写像関係は較正時に各座標軸上で3点以上の測定を行い、必要な関係を得るため補間法を使用することによって得ることができる。

【 0 0 4 8 】

【数 1 2】

$$\begin{aligned} x'_1 &= f_{11}(x_1), y'_1 = f_{12}(y_1), z'_1 = f_{13}(z_1) \\ x'_2 &= f_{21}(x_2), y'_2 = f_{22}(y_2), z'_2 = f_{23}(z_2) \\ x'_3 &= f_{31}(x_3), y'_3 = f_{32}(y_3), z'_3 = f_{33}(z_3) \end{aligned}$$

10

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= x_1/x'_1 & \mu_1 &= y_1/y'_1 & \eta_1 &= z_1/z'_1 \\ \lambda_2 &= x_2/x'_2 & \mu_2 &= y_2/y'_2 & \eta_2 &= z_2/z'_2 \\ \lambda_3 &= x_3/x'_3 & \mu_3 &= y_3/y'_3 & \eta_3 &= z_3/z'_3 \end{aligned}$$

20

【 0 0 4 9 】

以下は、新しいスケールファクタの計算結果を示す。

【 0 0 5 0 】

【数 1 3】

$$\begin{aligned} \alpha'_1 &= \left(\frac{\eta_1}{\lambda_1}\right) \alpha_1, \beta'_1 = \left(\frac{1}{\lambda_1}\right) \beta_1, \gamma'_1 = \left(\frac{\eta_1}{\mu_1}\right) \gamma_1, \delta'_1 = \left(\frac{1}{\mu_1}\right) \delta_1 \\ \alpha'_2 &= \left(\frac{\eta_2}{\lambda_2}\right) \alpha_2, \beta'_2 = \left(\frac{1}{\lambda_2}\right) \beta_2, \gamma'_2 = \left(\frac{\eta_2}{\mu_2}\right) \gamma_2, \delta'_2 = \left(\frac{1}{\mu_2}\right) \delta_2 \\ \alpha'_3 &= \left(\frac{\eta_3}{\lambda_3}\right) \alpha_3, \beta'_3 = \left(\frac{1}{\lambda_3}\right) \beta_3, \gamma'_3 = \left(\frac{\eta_3}{\mu_3}\right) \gamma_3, \delta'_3 = \left(\frac{1}{\mu_3}\right) \delta_3 \end{aligned}$$

30

【 0 0 5 1 】

上記計算手法は3点の位置偏差を最小二乗法を用いて計算するというものである。最小二乗法計算の最後に、座標軸の射影に新しいスケールファクタを乗じて非線形性を補償する。3組の方程式によって与えられる新しいスケールファクタを使用して、上述の各定数、 α 、 β 、 γ 、 δ を各画像平面について計算し直す。その後、最小二乗法による計算を再度行う。

40

【 0 0 5 2 】

上記計算手法を4つ以上の標点を用いる場合に拡張することを考慮する。ここでは、4つの標点を用いられる場合について記載する。上述のように各標点がSCS座標系のX-Y平面上にあるものと仮定の下で、上述の式(1)から(4)で説明した方程式を4つの標点に関して立てることで、各標点の位置が得られることとなる。

50

【 0 0 5 3 】

より一般化した場合に関しては、3つの標点について式(13)から(15)を得た場合と同様に、下記式(19)から(22)のように、4つの標点のx、y座標をzの線形関数として表すことができる。

【 0 0 5 4 】

【数14】

$$\begin{aligned} x_1 &= \alpha_1 z_1 + \beta_1 \\ y_1 &= \gamma_1 z_1 + \delta_1 \end{aligned} \quad \dots (19)$$

10

$$\begin{aligned} x_2 &= \alpha_2 z_2 + \beta_2 \\ y_2 &= \gamma_2 z_2 + \delta_2 \end{aligned} \quad \dots (20)$$

$$\begin{aligned} x_3 &= \alpha_3 z_3 + \beta_3 \\ y_3 &= \gamma_3 z_3 + \delta_3 \end{aligned} \quad \dots (21)$$

$$\begin{aligned} x_4 &= \alpha_4 z_4 + \beta_4 \\ y_4 &= \gamma_4 z_4 + \delta_4 \end{aligned} \quad \dots (22)$$

20

【 0 0 5 5 】

次に、ワークWが剛体であることに基づき、4つのSCS座標系の原点間の距離と4つの計測点(標点)間の距離が等しいことに基づき、4つのSCS座標系の原点間の距離、及び4つの標点間の距離に関し次の式を得る。なお、ここでは、4つのSCS座標系の原点間の距離(4つの標点間の距離)として d_{12} 、 d_{23} 、 d_{34} 、 d_{41} に関する式を立てて方程式(19)から(22)の解を求めることを記載するが、更に、4つのSCS座標系の原点間の距離(4つの標点間の距離)として d_{13} 、 d_{24} に関する式を立て、それらの式も考慮に加える形で方程式(19)から(22)の解を求めるようにしても良い。

30

【 0 0 5 6 】

【数15】

$$\begin{aligned} d_{12} &= [x_{012}^2 + y_{012}^2 + z_{012}^2]^{1/2} \\ d_{23} &= [x_{023}^2 + y_{023}^2 + z_{023}^2]^{1/2} \\ d_{34} &= [x_{034}^2 + y_{034}^2 + z_{034}^2]^{1/2} \\ d_{41} &= [x_{041}^2 + y_{041}^2 + z_{041}^2]^{1/2} \end{aligned}$$

40

【 0 0 5 7 】

【数16】

50

$$\begin{aligned}
d_{12}^2 &= (x_{012} + x_1 - x_2)^2 + (y_{012} + y_1 - y_2)^2 \\
&\quad + (z_{012} + z_1 - z_2)^2 \\
d_{23}^2 &= (x_{023} + x_2 - x_3)^2 + (y_{023} + y_2 - y_3)^2 \\
&\quad + (z_{023} + z_2 - z_3)^2 \\
d_{34}^2 &= (x_{034} + x_3 - x_4)^2 + (y_{034} + y_3 - y_4)^2 \\
&\quad + (z_{034} + z_3 - z_4)^2 \\
d_{41}^2 &= (x_{041} + x_4 - x_1)^2 + (y_{041} + y_4 - y_1)^2 \\
&\quad + (z_{041} + z_4 - z_1)^2
\end{aligned} \tag{23}$$

【 0 0 5 8 】

式(19)から(22)を式(23)に代入することで、以下の様に、上記式(17)及び式(18)を4つの標点について拡張した式(24)及び式(25)を得る。

【 0 0 5 9 】

【数17】

$$\begin{aligned}
&(x_{012} + \alpha_1 z_1 + \beta_1 - \alpha_2 z_2 - \beta_2)^2 \\
&\quad + (y_{012} + \gamma_1 z_1 + \delta_1 - \gamma_2 z_2 - \delta_2)^2 \\
&\quad + (z_{012} + z_1 - z_2)^2 = d_{12}^2 \\
&(x_{023} + \alpha_2 z_2 + \beta_2 - \alpha_3 z_3 - \beta_3)^2 \\
&\quad + (y_{023} + \gamma_2 z_2 + \delta_2 - \gamma_3 z_3 - \delta_3)^2 \\
&\quad + (z_{023} + z_2 - z_3)^2 = d_{23}^2 \\
&(x_{034} + \alpha_3 z_3 + \beta_3 - \alpha_4 z_4 - \beta_4)^2 \\
&\quad + (y_{034} + \gamma_3 z_3 + \delta_3 - \gamma_4 z_4 - \delta_4)^2 \\
&\quad + (z_{034} + z_3 - z_4)^2 = d_{34}^2 \\
&(x_{041} + \alpha_4 z_4 + \beta_4 - \alpha_1 z_1 - \beta_1)^2 \\
&\quad + (y_{041} + \gamma_4 z_4 + \delta_4 - \gamma_1 z_1 - \delta_1)^2 \\
&\quad + (z_{041} + z_4 - z_1)^2 = d_{41}^2
\end{aligned} \tag{24}$$

【 0 0 6 0 】

【数18】

$$\begin{aligned}
&k_{11}z_1^2 + k_{10}z_1 + k_{20}z_2 + k_{12}z_1z_2 + k_{22}z_2^2 + k_{00} = 0 \\
&l_{22}z_2^2 + l_{20}z_2 + l_{30}z_3 + l_{23}z_2z_3 + l_{33}z_3^2 + l_{00} = 0 \\
&m_{33}z_3^2 + m_{30}z_3 + m_{40}z_4 + m_{34}z_3z_4 + m_{44}z_4^2 + m_{00} = 0 \\
&n_{44}z_4^2 + n_{40}z_4 + n_{10}z_1 + n_{41}z_4z_1 + n_{11}z_1^2 + n_{00} = 0
\end{aligned} \tag{25}$$

【 0 0 6 1 】

10

20

30

40

50

この方程式を上述の手法の場合と同様に繰り返し法により解き、 x_1, x_2, x_3, x_4 及び y_1, y_2, y_3, y_4 、すなわち、4つの標点の変位後の位置を得ることができる。そして、4つの標点の検出位置を合成する形で、ワークWの3次元位置を得る。すなわち、これらの検出位置から、VCSをBCSに關係づける変換[T]を得る。

【0062】

さらに増加した数の検出対象（標点）について計測を行う場合にも、同様のやり方で拡張できることを理解することができる。

【0063】

なお、3つ以上の検出対象（標点）の検出位置からワークWの3次元位置を決定する手法としては、様々な手法を用いることができる。例示として、以下のような各種手法を、適用することができる。なお、以下に例示する手法において、検出対象（標点）の配置に関する条件がある場合にはそれを順守する。

(1) 上述の変換[T]のパラメータ（並進及び回転を表すパラメータ）を、連立方程式を解く形で求める手法。

(2) 特許文献4（特開2019-128274号公報）に記載されているように、各標点の検出位置に対するカメラの視線に既知形状の多角形（零偏差位置にある標点を結ぶ多角形）を当てはめることでワークの位置及び姿勢を特定する手法。

(3) ワーク上の3つ以上の標点の位置からワーク上の座標系の平面（XY平面等）を特定することで当該座標系を把握する手法。この場合、例えば、第1の標点を原点、第2の標点がX軸方向の位置、第3の標点（及び第4以降の標点）がXY平面上の位置を表すものとして座標系を把握する。

このように3つ以上の検出対象（標点）の検出位置からワークWの3次元位置を求める計算機能は、ロボット制御装置50における選択部153或いは3次元位置決定部154内の機能として実装されていても良い。

【0064】

図5は、ロボット制御装置50及び画像処理装置20の機能ブロック図である。図5に示すように、ロボット制御装置50は、動作制御部151と、組合せ生成部152と、選択部153と、3次元位置決定部154と、を備える。なお、これらの機能ブロックは、ロボット制御装置50のプロセッサ51がプログラムを実行することにより実現されるものであっても良い。また、ロボット制御装置50は、記憶部155を備える。

【0065】

記憶部155は、例えば不揮発性メモリ、ハードディスク装置等により構成される。記憶部155は、ロボット10を制御する動作プログラム、視覚センサ70により撮像された画像に基づきワークの検出等の画像処理を行うプログラム（ビジョンプログラム）、各種設定情報等が格納されている。

【0066】

動作制御部151は、ロボットの動作プログラムにしたがってロボットの動作を制御する。ロボット制御装置50は、動作制御部151が生成する各軸に対する指令に従って各軸のサーボモータに対するサーボ制御を実行するサーボ制御部（不図示）を備えている。動作制御部151は、視覚センサ70を移動させて各検出対象を撮像するための撮像位置に位置付ける機能を担う。

【0067】

組合せ生成部152は、ワークW上で検出された検出対象の中から、3つ以上の検出対象を選択した組み合わせを複数生成する機能を提供する。

【0068】

選択部153は、生成された複数の組み合わせのそれぞれから計算した「ずれ量」に基づいて、複数の組み合わせから1以上の組み合わせを選択する機能を提供する。

【0069】

3次元位置決定部154は、選択部153により選択された、検出対象の1以上の組み合わせからワークWの3次元位置情報を決定する機能を提供する。組合せ生成部152、

10

20

30

40

50

選択部 1 5 3 及び 3 次元位置決定部 1 5 4 の機能の詳細は後述する。

【 0 0 7 0 】

画像処理装置 2 0 は、画像処理部 1 2 1 と記憶部 1 2 2 とを備える。記憶部 1 2 2 は、例えば不揮発性メモリからなる記憶装置である。記憶部 1 2 2 は、検出対象の形状データ、較正データ等の画像処理に必要な各種データを記憶する。画像処理部 1 2 1 は、ワークの検出処理等の各種画像処理を実行する。すなわち、画像処理部 1 2 1 は、視覚センサ 7 0 が検出対象を含む撮像範囲において撮像した画像上で検出対象を検出する検出部としての機能を有する。

【 0 0 7 1 】

ロボット制御装置 5 0 によるワーク W の 3 次元計測機能について説明する。図 6 は、ロボット制御装置 5 0 (プロセッサ 5 1) による制御の下で実行される 3 次元位置計測処理の基本動作を表すフローチャートである。

10

【 0 0 7 2 】

はじめに、画像処理部 (検出部) 1 2 1 は、視覚センサ 7 0 により検出対象を撮像した画像に基づき検出対象を検出する (ステップ S 1) 。ここでは、ロボット 1 0 により視覚センサ 7 0 は各々の検出対象を撮像する撮像位置に位置付けられ、検出対象を含む画像を撮像する。画像処理部 (検出部) 1 2 1 は、上述した位置検出機能により 3 つ以上の検出対象の各々の位置 (x, y) を得る。

【 0 0 7 3 】

次に、組合せ生成部 1 5 2 は、検出された検出対象の中から、3 つ以上の検出対象を選択した複数の組み合わせを生成する (ステップ S 2) 。例えば、組合せ生成部 1 5 2 は、検出された 3 つ以上の検出対象から全ての可能な組み合わせを生成しても良い。この場合、例えば、検出された検出対象の個数が 5 個であれば、可能な組み合わせの数は、5 つ全部の検出対象を用いる組み合わせの数、5 つの検出対象うち 4 つを用いる組み合わせの数、及び 5 つの検出対象うち 3 つを用いる組み合わせの数の合計数となる。

20

【 0 0 7 4 】

或いは、組合せ生成部 1 5 2 は、以下のような規則にしたがって検出対象の組み合わせを生成しても良い。

(規則 1) 検出された 3 つ以上の検出対象から除外するものを選択する。ただし、少なくとも 3 つは検出対象を残すようにする。

30

(規則 2) 除外する検出対象の最大数を指定しても良い

(規則 3) 残す検出対象の最低数を指定しても良い。

【 0 0 7 5 】

除外する検出対象を選択する場合、除外する検出対象を変えることで、複数の検出対象の組み合わせが生成され得る。例えば、8 個の検出対象が検出されているとき、除外する最大数の指定が 2 であれば、 $(1 + 8 + 8 \times 7 \div 2 = 37)$ 通りの検出結果の組み合わせが生成される。

【 0 0 7 6 】

組合せ生成部 1 5 2 は、「除外する検出対象の選択」、「除外する検出対象の最大数」、或いは「残す検出対象の最低数」の入力 (外部装置からの入力、或いはユーザ入力) を受け付けるように構成されていても良い。ユーザ入力を受け付けるためのユーザインタフェースは、教示操作盤 4 0 の表示部 4 1 に提示されても良い。ユーザ入力は、教示操作盤 4 0 の操作部を介して行われても良い。組合せ生成部 1 5 2 は、「除外する検出対象の選択」、「除外する検出対象の最大数」、或いは「残す検出対象の最低数」について予めロボット制御装置 5 0 に設定されている値を用いて組み合わせを生成しても良い。

40

【 0 0 7 7 】

このように、より多くの検出対象を全体の 3 次元位置 (ワーク W の 3 次元位置) の計算に取り込むようにすることで、一つ一つの検出対象が含み得る誤差の影響を全体として低減し、3 次元位置の計測の精度を高めることが可能となる。

【 0 0 7 8 】

50

次に、選択部 153 は、生成された検出対象の組み合わせのそれぞれに関し、全体の 3 次元位置（ワーク W の 3 次元位置）、及び、組み合わせに含まれる 3 つ以上の検出対象の検出位置の理想位置からの位置ずれを表す指標（以下、この指標を「位置ずれ」と称することとする）を計算する。そして、選択部 153 は、「位置ずれ」に基づき、1 以上の組み合わせを選択する（ステップ S3）。

【0079】

例示として、選択部 153 は、「位置ずれ」を以下の様に計算する。ある組み合わせについて全体の 3 次元位置が位置 A として求めたとする。ワーク W 上の i 番目の検出対象の設計上の位置 P_i を使って、ワーク W の 3 次元位置が位置 A であるときの検出対象の理想的な位置は $A \cdot P_i$ と求められる。この組み合わせにおける検出対象の数を n とする。選択部 153 は、例えば、位置ずれ D を、 $A \cdot P_i$ と、上述の式（25）で求められる i 番目の検出対象（標点）の変位後の位置 P'_i との差 K_i に基づき算出しても良い。例えば、選択部 153 は、位置ずれ D を、 K_i の平均値 K_i / n として求めても良い。この場合、位置ずれ D は、ある組み合わせに関し、その組合せに含まれる検出対象の検出位置の理想位置からのずれ量がどの程度であるかについての指標となる。或いは、選択部 153 は、位置ずれ D を、 i 番目の検出対象の実際の検出位置への視線 L_i と $A \cdot P_i$ との距離 D_i に基づき算出しても良い。例えば、選択部 153 は、位置ずれ D を、 D_i の平均 D_i / n として求めても良い。この場合においても、位置ずれ D は、ある組み合わせに関し、その組合せに含まれる検出対象の検出位置の理想位置からのずれ量がどの程度であるかについての指標となる。

【0080】

選択部 153 は、生成された組み合わせのそれぞれについて計算された位置ずれ D に基づいて 1 以上の組み合わせを選択することができる。この場合、選択部 153 は、(r1) 位置ずれ D が小さいほど精度が良い、との選択基準を用いて組み合わせの選択を行うことができる。したがって、例えば、選択部 153 は、位置ずれ D の値が小さい所定数の組み合わせを選択しても良く、或いは、位置ずれ D の値が最も小さい一つの組み合わせを選択しても良い。

【0081】

このように、位置ずれ D に基づいて全体の 3 次元位置（ワーク W の 3 次元位置）の算出に用いる組み合わせを選択する構成とすることで、大きな誤差を持つ可能性が高い組み合わせを排除し、3 次元位置の計測の精度を高めることが可能となる。

【0082】

次に、3 次元位置決定部 154 は、選択部 153 によって選択された 1 以上の組み合わせから、ワーク W の最終的な 3 次元位置を決定する（ステップ S4）。選択部 153 によって選択されている組み合わせが一つである場合には、3 次元位置決定部 154 は、当該一つの組み合わせにより求められているワーク W の位置 A を、ワーク W の最終的な 3 次元位置として決定しても良い。

【0083】

選択部 153 によって選択されている組み合わせが複数ある場合には、3 次元位置決定部 154 は、当該複数の組み合わせそれぞれについて求められるワーク W の 3 次元位置に関する統計量に基づき、ワーク W の最終的な 3 次元位置を決定しても良い。例えば、3 次元位置決定部 154 は、選択されている複数の組み合わせについてそれぞれ求められるワーク W の 3 次元位置の平均値或いは中央値を、ワーク W の最終的な 3 次元位置として決定しても良い。

【0084】

このように、本実施形態に係る 3 次元位置計測処理によれば、誤差の影響を低減し、3 次元物体の 3 次元位置の計測の精度を向上させることができる。

【0085】

上記 3 次元位置計測処理のステップ S3 において組み合わせを選択する場合に、選択部 153 は、生成されている組み合わせの各々における検出対象の個数を更に考慮しても良

い。この場合、選択部 153 は、

(r 1) 位置ずれ D が小さいほど精度が良い、及び

(r 2) 組み合わせにおける検出対象の数が多いほど精度が良い、

との選択基準を用いて選択を行っても良い。なお、この場合の選択基準 (r 2) は、検出対象の個数が多いほど、それぞれが含み得る誤差を丸め全体としての位置計測精度を高め得ることに基づく。

【 0 0 8 6 】

一例として、位置ずれ D が良好な (比較的小さい) 組み合わせの選択候補が複数ある状況であるとする。この場合、選択部 153 は、複数の選択候補の中から、検出対象の個数が大きい 1 又は複数の組み合わせを選択しても良い。

10

【 0 0 8 7 】

上記 3 次元位置計測処理のステップ S 2 において組み合わせを生成する場合に、組合せ生成部 152 は、検出された検出対象から生成し得る組み合わせ中から特定の組み合わせを選択したものを、生成した組み合わせとして出力しても良い。例えば、ステップ S 1 において検出されている検出対象の個数が多い状況を考慮する。この場合、生成し得る組み合わせの数が非常に多くなる。このような状況では、組合せ生成部 152 は、生成し得る全ての組み合わせの中からランダムに選択したものを出力しても良い。これにより、多数の組み合わせ候補の中から偏りなく組み合わせを選択して用いることが可能となる。

【 0 0 8 8 】

上記 3 次元位置計測処理のステップ S 3 において、位置ずれ D、或いは、位置ずれ D 及び検出対象の個数に基づいて選択された組み合わせが多数存在するような状況を考慮する。この場合、当該選択されている組み合わせについてステップ S 2 から S 3 の処理を更に 1 回以上繰り返すことで、選択される組み合わせの数を絞り込むようにしても良い。この場合、

20

(1) 選択部 153 により選択された 1 以上の組み合わせに含まれている検出対象に基づいて、組合せ生成部 152 は、3 つ以上の検出対象を選択した複数の組み合わせ (第 2 の複数の組み合わせ) を再度生成し、

(2) 第 2 の複数の組み合わせの各々について計算した指標 (位置ずれ) に基づいて、選択部 153 が、第 2 の複数の組み合わせから 1 以上の組み合わせを再度選択すること、を 1 以上の回数実行するようにする。

30

【 0 0 8 9 】

例えば、検出されている検出対象の数が 20 個で、組合せ生成部 152 での 1 回目の組み合わせの生成で「残す検出対象の最低数を 10 個とする」との規則で組み合わせを生成したところ、選択部 153 により選択された組み合わせの数がかなりの数になっているとする。この場合、組合せ生成部 152 は、選択部 153 により選択されている組み合わせに含まれている検出対象に関し、例えば「残す検出対象の最低数を 15 個とする」との規則を適用し、第 2 の複数の組み合わせの生成を行っても良い。ただし、この場合には、選択部 153 により予め選択されている組み合わせを母集合として、その中から、「残す検出対象の最低数を 15 個とする」との規則に適合する組み合わせを選択する形で、第 2 の複数の組み合わせを生成することとする。選択部 153 は、第 2 の複数の組み合わせから、

40

上述の選択基準 (r 1)、或いは、上述の選択基準 (r 1) 及び (r 2) に基づいて組み合わせの選択を行っても良い。

【 0 0 9 0 】

また、組合せ生成部 152 の組み合わせの生成と選択部 153 の選択を繰り返すことによる選択の絞り込みに関しては次のように行っても良い。

組合せ生成部 152 が、選択部 153 により選択された 1 以上の組み合わせから、ある検出位置について算出されている位置ずれを表す指標 (例えば、上記 K_i 或いは D_i) が他の検出位置について算出されている位置ずれを表す指標よりも大きいという基準を満たす 1 以上の検出位置を削除することで、3 つ以上の検出対象を含む複数の組み合わせを再度生成し、再度生成された各組み合わせにおける検出対象について算出された位置ずれを表

50

す指標が所定の条件を満たすまで1以上の回数実行する。この場合において、所定の条件は、再度生成された各組み合わせにおける検出対象についての位置ずれを表す指標の平均値、又は、当該指標の値が所定の値以下であることであっても良い。

【0091】

具体的には、以下のように動作するようにしても良い。

(b1) 組合せ生成部152が、選択部153により選択された1以上の組み合わせから、「ある検出位置について算出されている差 K_i が他の検出位置について算出されている差 K_i よりも大きい」という基準を満たす1以上の検出位置を削除することで、3つ以上の検出対象を含む複数の組み合わせを再度生成する動作を、

(b2) 生成される組み合わせについての K_i/n 又は K_i が所定の値以下になるように1以上の回数実行する。上記(b1)では、例えば、ある組み合わせに含まれる検出対象に関し、差 K_i が大きい所定数の検出対象を削除するといった処理を行っても良い。

10

【0092】

或いは、組合せ生成部152の組み合わせの生成と選択部153の選択を繰り返すことによる選択の絞り込みに関しては次のように行っても良い。

(c1) 組合せ生成部152が、選択部153により選択された1以上の組み合わせから、「ある検出位置について算出されている距離 D_i が他の検出位置について算出されている距離 D_i よりも大きい」という基準を満たす1以上の検出位置を削除することで、3つ以上の検出対象を含む複数の組み合わせを再度生成する動作を、

(c2) 生成される組み合わせについての D_i/n 又は D_i が所定の値以下になるように1以上の回数実行する。上記(c1)では、例えば、ある組み合わせに含まれる検出対象に関し、距離 D_i が大きい所定数の検出対象を削除するといった処理を行っても良い。

20

【0093】

このように選択の繰り返しを行う構成とすることで、特に、検出対象の個数が多いような状況で、好適な選択候補の絞り込みを高速に行うことができる。

【0094】

以上説明したように、本実施形態によれば、検出対象の検出位置に含まれ得る誤差の影響を低減でき、それにより3次元物体の3次元位置計測の精度を向上させることができる。

【0095】

図3に示した機能ブロック図における機能配置は例示であり、ロボットシステム100内における機能配分に関しては様々な変形例を成し得る。例えば、ロボット制御装置50における機能の一部を教示操作盤40側に配置するような構成例も有り得る。

30

【0096】

教示操作盤40とロボット制御装置50全体をロボット制御装置と定義することもできる。

【0097】

上述の実施形態におけるロボット制御装置の構成(画像処理装置の機能を統合した場合を含む)は、様々な産業機械の制御装置に適用することができる。

【0098】

図5に示されるロボット制御装置及び画像処理装置の機能ブロックは、これらの装置のプロセッサが、記憶装置に格納された各種ソフトウェアを実行することで実現されても良く、或いは、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)等のハードウェアを主体とした構成により実現されても良い。

40

【0099】

上述した実施形態における3次元位置計測処理等の各種の処理を実行するプログラムは、コンピュータに読み取り可能な各種記録媒体(例えば、ROM、EEPROM、フラッシュメモリ等の半導体メモリ、磁気記録媒体、CD-ROM、DVD-ROM等の光ディスク)に記録することができる。

【0100】

本開示について詳述したが、本開示は上述した個々の実施形態に限定されるものではな

50

い。これらの実施形態は、本開示の要旨を逸脱しない範囲で、または、特許請求の範囲に記載された内容とその均等物から導き出される本開示の趣旨を逸脱しない範囲で、種々の追加、置き換え、変更、部分的削除等が可能である。また、これらの実施形態は、組み合わせて実施することもできる。例えば、上述した実施形態において、各動作の順序や各処理の順序は、一例として示したものであり、これらに限定されるものではない。また、上述した実施形態の説明に数値又は数式が用いられている場合も同様である。

【 0 1 0 1 】

上記実施形態および変形例に関し更に以下の付記を記載する。

(付記 1)

ワーク上に存在する互いの位置関係が既知の 3 つ以上の検出対象を視覚センサ (7 0) により撮像した画像に基づき検出された検出対象の中から、3 つ以上の検出対象を選択した組み合わせを複数生成する組合せ生成部 (1 5 2) と、生成された前記複数の組み合わせのそれぞれについて計算した、前記 3 つ以上の検出対象の検出位置の理想位置からの位置ずれを表す指標に基づいて、前記複数の組み合わせから 1 以上の組み合わせを選択する選択部 (1 5 3) と、選択された前記 1 以上の組み合わせから前記ワークの 3 次元位置を決定する 3 次元位置決定部 (1 5 4) と、を備える制御装置 (5 0) 。

10

(付記 2)

前記組合せ生成部 (1 5 2) は、前記検出された検出対象から、全ての可能な前記組み合わせを生成する、付記 1 に記載の制御装置 (5 0) 。

(付記 3)

前記組合せ生成部 (1 5 2) は、前記検出された検出対象から所定数の検出対象を除外または選択して前記組み合わせを複数生成する、付記 1 に記載の制御装置 (5 0) 。

20

(付記 4)

前記組合せ生成部 (1 5 2) は、前記検出された検出対象から生成可能な前記組み合わせからランダムに選択を行うことで、前記組み合わせを複数生成する、付記 1 に記載の制御装置 (5 0) 。

(付記 5)

前記選択部 (1 5 3) は、生成された前記複数の組み合わせの各々について、
(1) 一つの組み合わせから求められる前記ワークの 3 次元位置を位置 A、前記ワーク上の i 番目の前記検出対象の設計上の位置を P_i とするとき、前記ワーク上の i 番目の前記検出対象の理想位置を $A \cdot P_i$ として求め、

30

(2) 当該一つの組み合わせにおける i 番目の前記検出対象の検出位置 P'_i と $A \cdot P_i$ との差 K_i を当該一つの組み合わせ中の検出対象の各々について求め、当該求められたに差 K_i に基づき前記指標を求める、付記 1 から 4 のいずれか一項に記載の制御装置 (5 0) 。

(付記 6)

前記選択部 (1 5 3) は、前記一つの組み合わせにおける検出対象の数を n とするとき、前記差 K_i の平均値である K_i / n を前記指標として求める、付記 5 に記載の制御装置 (5 0) 。

(付記 7)

前記選択部 (1 5 3) は、生成された前記複数の組み合わせの各々について、
(1) 一つの組み合わせから求められる前記ワークの 3 次元位置を位置 A、前記ワーク上の i 番目の前記検出対象の設計上の位置を P_i とするとき、前記ワーク上の i 番目の前記検出対象の理想位置を $A \cdot P_i$ として求め、

40

(2) 当該一つの組み合わせにおける前記視覚センサから i 番目の検出対象の検出位置への視線 L_i と、 $A \cdot P_i$ との距離 D_i を当該一つの組み合わせ中の検出対象の各々について求め、当該求められた距離 D_i に基づき前記指標を求める、付記 1 から 4 のいずれか一項に記載の制御装置 (5 0) 。

(付記 8)

前記選択部 (1 5 3) は、前記一つの組み合わせにおける検出対象の数を n とするとき、前記距離 D_i の平均値である D_i / n を前記指標として求める、付記 7 に記載の制御

50

装置（５０）。

（付記９）

前記選択部（１５３）は、前記指標の大きさが小さいほど精度が良いとの選択基準を用いて、前記１以上の組み合わせの選択を行う、付記１から８のいずれか一項に記載の制御装置（５０）。

（付記１０）

前記選択部（１５３）は、前記複数の組み合わせのそれぞれについて計算した前記指標と、前記複数の組み合わせの各々における検出対象の数とに基づいて、前記複数の組み合わせから１以上の組み合わせを選択する、付記１から８のいずれか一項に記載の制御装置（５０）。

10

（付記１１）

前記選択部（１５３）は、前記複数の組み合わせの各々に関し、
（１）前記指標の大きさが小さいほど精度が良い、及び
（２）組み合わせにおける検出対象の数が多いほど精度が良い、
との選択基準を用いて、前記１以上の組み合わせの選択を行う、付記１０に記載の制御装置（５０）。

（付記１２）

前記３次元位置決定部（１５４）は、選択された前記１以上の組み合わせのそれぞれにより得られる前記ワークの３次元位置の統計量に基づき、前記ワークの３次元位置を決定する、付記１から１１のいずれか一項に記載の制御装置（５０）。

20

（付記１３）

前記３次元位置決定部（１５４）は、選択された前記１以上の組み合わせのそれぞれにより得られる前記ワークの３次元位置の平均値又は中央値を前記３次元物体の３次元位置として決定する、付記１２に記載の制御装置（５０）。

（付記１４）

前記選択部（１５３）により選択された前記１以上の組み合わせに含まれている検出対象に基づいて、前記組合せ生成部（１５２）が３つ以上の検出対象を選択した複数の組み合わせを再度生成し、再度生成された前記複数の組み合わせの各々について計算した前記指標に基づいて、前記選択部（１５３）が、再度生成された前記複数の組み合わせから１以上の組み合わせを再度選択すること、からなる動作を１以上の回数実行する、付記１から１３のいずれか一項に記載の制御装置（５０）。

30

（付記１５）

前記組合せ生成部（１５２）が、前記選択部（１５３）により選択された前記１以上の組み合わせから、ある検出位置について算出されている前記位置ずれを表す指標が他の検出位置について算出されている前記位置ずれを表す指標よりも大きいという基準を満たす１以上の検出位置を削除することで、３つ以上の検出対象を含む複数の組み合わせを再度生成し、再度生成された各組み合わせにおける前記検出対象について算出された前記位置ずれを表す指標が所定の条件を満たすまで１以上の回数実行する、付記１から４のいずれか一項に記載の制御装置（５０）。

（付記１６）

40

前記所定の条件は、再度生成された各組み合わせにおける前記検出対象についての前記位置ずれを表す指標の平均値、又は、当該指標の値が所定の値以下であることである、付記１５に記載の制御装置（５０）。

（付記１７）

視覚センサ（７０）と、ワーク上に存在する互いの位置関係が既知の３つ以上の検出対象を前記視覚センサにより撮像した画像に基づき検出する検出部（１２１）と、検出された検出対象の中から、３つ以上の検出対象を選択した組み合わせを複数生成する組合せ生成部（１５２）と、生成された前記複数の組み合わせのそれぞれについて計算した、前記３つ以上の検出対象の検出位置の理想位置からの位置ずれを表す指標に基づいて、前記複数の組み合わせから１以上の組み合わせを選択する選択部（１５３）と、選択された前記

50

1以上の組み合わせから前記ワークの3次元位置を決定する3次元位置決定部(154)と、を備える3次元位置計測システム(100)。

(付記18)

前記視覚センサ(70)を搭載したロボット(10)と、前記ロボット(10)を制御して前記視覚センサ(70)を前記3つ以上の検出対象をそれぞれ撮像するための撮像位置に位置付ける動作制御部(151)と、を更に備える付記17に記載の3次元位置計測システム(100)。

(付記19)

コンピュータのプロセッサに、ワーク上に存在する互いの位置関係が既知の3つ以上の検出対象を視覚センサ(70)により撮像した画像に基づき検出する手順と、検出された検出対象の中から、3つ以上の検出対象を選択した組み合わせを複数生成する手順と、生成された前記複数の組み合わせのそれぞれについて計算した、前記3つ以上の検出対象の検出位置の理想位置からの位置ずれを表す指標に基づいて、前記複数の組み合わせから1以上の組み合わせを選択する手順と、選択された前記1以上の組み合わせから前記ワークの3次元位置を決定する手順と、を実行させるためのプログラム。

10

【符号の説明】

【0102】

- 1 台
- 10 ロボット
- 20 画像処理装置
- 33 ハンド
- 40 教示操作盤
- 41 表示部
- 50 ロボット制御装置
- 51 プロセッサ
- 70 視覚センサ
- 100 ロボットシステム
- 121 画像処理部
- 122 記憶部
- 151 動作制御部
- 152 組合せ生成部
- 153 選択部
- 154 3次元位置決定部
- 155 記憶部

20

30

40

50

【要約】

ワーク上に存在する互いの位置関係が既知の3つ以上の検出対象を視覚センサにより撮像した画像に基づき検出された検出対象の中から、3つ以上の検出対象を選択した組み合わせを複数生成する組合せ生成部と、生成された複数の組み合わせのそれぞれについて計算した、3つ以上の検出対象の検出位置の理想位置からの位置ずれを表す指標に基づいて、複数の組み合わせから1以上の組み合わせを選択する選択部と、選択された1以上の組み合わせからワークの3次元位置を決定する3次元位置決定部と、を備える制御装置である。

【図面】

【図1】

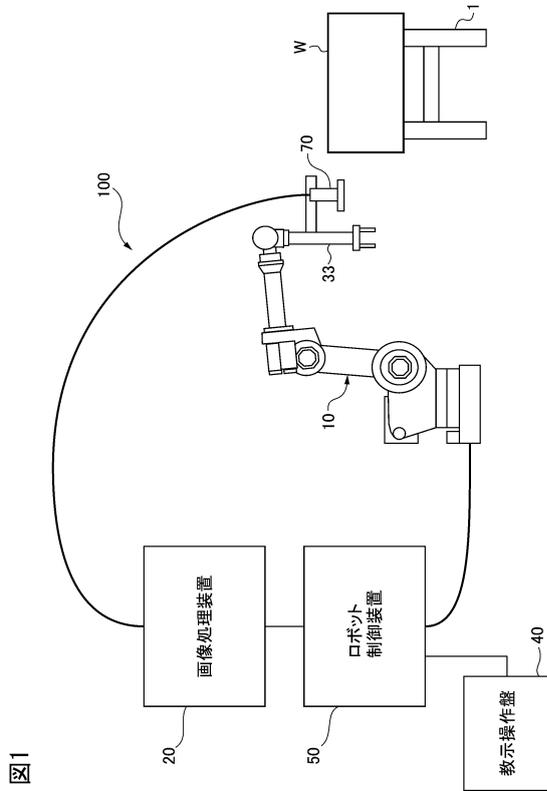
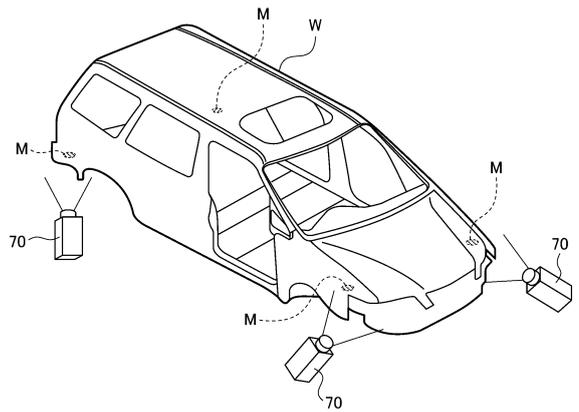


図1

【図2】

図2



10

20

30

40

50

【図3】

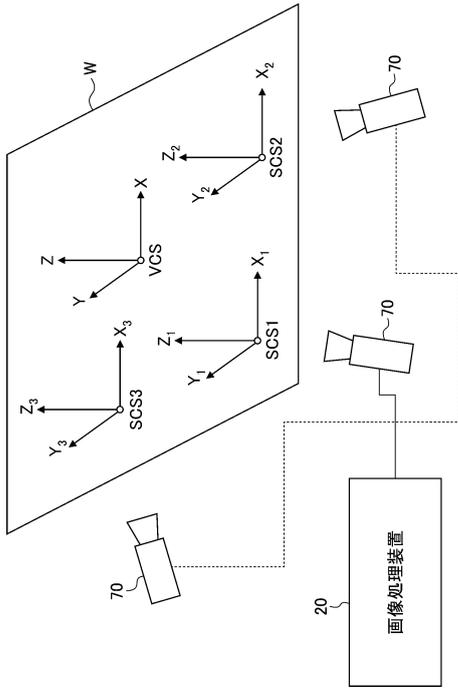
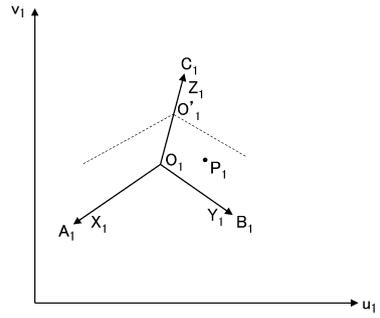


図3

【図4】

図4



10

20

【図5】

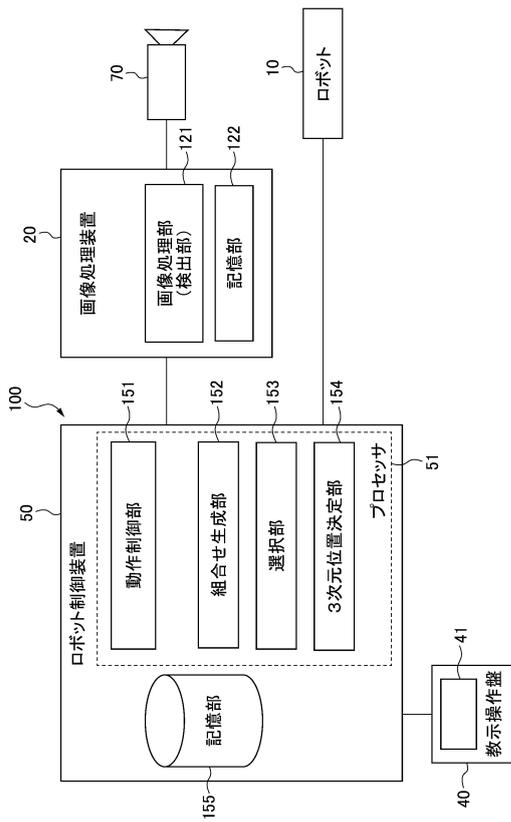
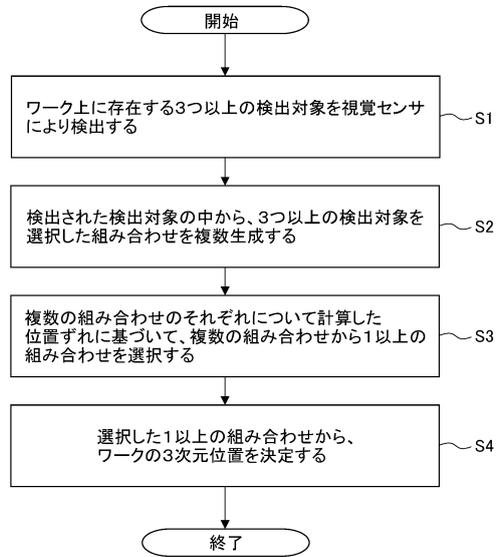


図5

【図6】

図6



30

40

50

フロントページの続き

審査官 續山 浩二

- (56)参考文献 特開2021-152497(JP,A)
特開2002-090118(JP,A)
特開2006-329842(JP,A)
特開2016-078195(JP,A)
特開2010-243405(JP,A)
特開2019-207531(JP,A)
特開2011-215042(JP,A)
特開2000-227309(JP,A)
特表2015-507749(JP,A)
米国特許出願公開第2011/0121068(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01C 15/06
G01C 11/04
G01B 11/00
B25J 19/04