

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6812095号
(P6812095)

(45) 発行日 令和3年1月13日 (2021.1.13)

(24) 登録日 令和2年12月18日 (2020.12.18)

(51) Int. Cl.		F I			
B 2 5 J	9/22	(2006.01)	B 2 5 J	9/22	A
G 0 5 B	19/42	(2006.01)	G 0 5 B	19/42	P

請求項の数 13 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2015-207631 (P2015-207631)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成27年10月22日 (2015.10.22)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2017-77614 (P2017-77614A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成29年4月27日 (2017.4.27)	(74) 代理人	110003133
審査請求日	平成30年10月16日 (2018.10.16)		特許業務法人近島国際特許事務所
		(72) 発明者	檀 慶太
			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
		(72) 発明者	鈴木 秀明
			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	岩▲崎▼ 優
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 制御方法、プログラム、記録媒体、ロボット装置、及び物品の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

作業部を移動させるロボットアームと、前記ロボットアームを制御する制御部と、を有するロボット装置の制御方法において、前記作業部の移動先である目標点に対応させて設定された指標と、前記作業部に設けられた視覚センサとを用いて、前記目標点の情報を有する教示データを補正する制御方法であって、

前記制御部が、前記作業部を、補正前の教示点から、前記指標の位置を前記視覚センサにより測定可能な撮影点にオフセットさせた後、前記視覚センサに前記指標を撮影させる撮影工程と、

前記制御部が、前記撮影工程の撮影結果に基づいて、前記作業部を、前記目標点に対応する補助目標点に移動させる移動工程と、

前記制御部が、前記補助目標点から、前記オフセットのオフセット量を差し引いた位置が、前記教示データにおける前記目標点となるように前記教示データを補正する補正工程と、を有することを特徴とする制御方法。

【請求項 2】

前記制御部は、前記指標の位置の目標値を有しており、

前記移動工程では、前記制御部が、前記撮影点において測定された前記指標の位置と、前記目標値とに基づき、前記撮影点から前記補助目標点に移動させるための移動量を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の制御方法。

【請求項 3】

10

20

前記移動工程では、前記制御部が、前記ロボットアームを制御することにより、前記作業部を、前記補助目標点に移動させることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の制御方法。

【請求項 4】

前記補正工程において、前記オフセット量はベクトルであることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の制御方法。

【請求項 5】

前記撮影工程では、前記制御部が、前記作業部を、前記所定の位置から前記撮影点に移動させる途中に存在する補助撮影点に位置させて前記指標を前記視覚センサに 1 回以上撮影させる補助撮影を実行することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の制御方法。

10

【請求項 6】

前記撮影点に前記作業部を位置させた状態では、前記作業部は、前記指標の位置を前記視覚センサにより測定可能な範囲内であって、前記所定の位置に前記作業部を位置させた状態では、前記作業部は、前記指標の位置を前記視覚センサにより測定可能な範囲外であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の制御方法。

【請求項 7】

前記視覚センサは、前記作業部であるロボットハンドに把持されることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の制御方法。

【請求項 8】

20

前記指標は、対象物を支持する支持部に位置決められた治具に設けられることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の制御方法。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の制御方法をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項 10】

請求項 9 に記載のプログラムを記録した、コンピュータで読み取り可能な記録媒体。

【請求項 11】

作業部を移動させるロボットアームと、前記ロボットアームを制御する制御部と、を有し、

30

前記制御部が、前記作業部の移動先である目標点に対応させて設定された指標と、前記作業部に設けられた視覚センサとを用いて、前記目標点の情報を有する教示データを補正する際、

前記制御部が、前記作業部を、補正前の教示点から、前記指標の位置を前記視覚センサにより測定可能な撮影点にオフセットさせた後、前記視覚センサに前記指標を撮影させ、

前記制御部が、前記撮影の撮影結果に基づいて、前記作業部を、前記目標点に対応する補助目標点に移動させ、

前記制御部が、前記補助目標点から、前記オフセットのオフセット量を差し引いた位置が、前記教示データにおける前記目標点となるように前記教示データを補正する、ことを特徴とするロボット装置。

40

【請求項 12】

前記指標を撮影する際、前記制御部が、前記作業部を、前記所定の位置から前記撮影点に移動させる途中に存在する補助撮影点に位置させて前記指標を前記視覚センサに 1 回以上撮影させる補助撮影を実行する、ことを特徴とする請求項 11 に記載のロボット装置。

【請求項 13】

請求項 11 または 12 に記載のロボット装置を用いて物品の製造を行うことを特徴とする物品の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、ロボットアームを用いて組立作業を実現するロボット装置における制御方法、プログラム、記録媒体、ロボット装置、及び物品の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

多関節ロボットアームにより作業部を移動させて、対象物を把持するなどの処理をし、組立作業を実現するロボット装置が広く用いられている。ロボット装置では、作業部による対象物の処理位置や作業部の移動経路を、事前にコンピュータで仮想的にシミュレーションして設定する手法が実用化されている。この手法をオフライン教示と呼び、ここで決定される処理位置をオフライン教示点と呼ぶ。

【0003】

しかし、オフライン教示点には、ロボット装置の機体差によって、ミリメートル単位の累積誤差が発生することがある。このため、ロボット装置ごとに実機を用いてオンライン教示を行うことにより、オフライン教示点を修正している。

【0004】

特許文献1には、教示点に対応させて対象物側に設定された指標を、作業部に位置決められた三次元視覚センサで撮影して、三次元位置を測定することにより、オフライン教示点の位置ずれ量を求めて、教示点を修正するオンライン教示方法が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平7-84631号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1では、教示点に作業部を位置決めるときに、指標が三次元視覚センサの被写界深度方向の測定範囲外にある場合、三次元視覚センサによって指標の位置を高精度に求めることができない。指標が三次元視覚センサの被写界深度方向の測定範囲内にあっても、画角の端付近などの測定精度の低い範囲にある場合、三次元視覚センサによって指標の位置を正確に求めることができない。

【0007】

本発明は、三次元視覚センサの性能に被写界深度等の制約があっても、作業部の教示点を正確に修正できる教示点補正方法、プログラム、記録媒体、ロボット装置、撮影点作成方法、及び撮影点作成装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の制御方法は、作業部を移動させるロボットアームと、前記ロボットアームを制御する制御部と、を有するロボット装置の制御方法において、前記作業部の移動先である目標点に対応させて設定された指標と、前記作業部に設けられた視覚センサとを用いて、前記目標点の情報を有する教示データを補正する制御方法であって、前記制御部が、前記作業部を、補正前の教示点から、前記指標の位置を前記視覚センサにより測定可能な撮影点にオフセットさせた後、前記視覚センサに前記指標を撮影させる撮影工程と、前記制御部が、前記撮影工程の撮影結果に基づいて、前記作業部を、前記目標点に対応する補助目標点に移動させる移動工程と、前記制御部が、前記補助目標点から、前記オフセットのオフセット量を差し引いた位置が、前記教示データにおける前記目標点となるように前記教示データを補正する補正工程と、を有することを特徴とする。

また、本発明のロボット装置は、作業部を移動させるロボットアームと、前記ロボットアームを制御する制御部と、を有し、前記制御部が、前記作業部の移動先である目標点に対応させて設定された指標と、前記作業部に設けられた視覚センサとを用いて、前記目標点の情報を有する教示データを補正する際、前記制御部が、前記作業部を、補正前の教示点から、前記指標の位置を前記視覚センサにより測定可能な撮影点にオフセットさせた後

10

20

30

40

50

、前記視覚センサに前記指標を撮影させ、前記制御部が、前記撮影の撮影結果に基づいて、前記作業部を、前記目標点に対応する補助目標点に移動させ、前記制御部が、前記補助目標点から、前記オフセットのオフセット量を差し引いた位置が、前記教示データにおける前記目標点となるように前記教示データを補正する、ことを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

本発明の教示点補正方法では、作業部を指標に対して三次元視覚センサの被写界深度方向を含む方向にオフセットした撮影点に位置させてから、指標位置を計測する。このため、三次元視覚センサに被写界深度等の制約があっても、作業部の教示点を正確に修正できる。

10

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】ロボットシステムの構成の説明図である。

【図2】ステレオカメラを把持したロボットハンドの説明図である。

【図3】ハンドカメラ校正装置の説明図である。

【図4】マーカの説明図である。

【図5】ロボットコントローラの動作の説明図である。

【図6】オフライン補正用教示点の説明図である。

【図7】オフライン補正用教示点の設定制御のフローチャートである。

20

【図8】オンライン補正用教示点の説明図である。

【図9】オンライン教示点の設定制御のフローチャートである。

【図10】オンラインオフセットの傾きの説明図である。

【図11】実施の形態2のオンライン教示点の設定制御のフローチャートである。

【図12】オンラインオフセットの湾曲の説明図である。

【図13】実施の形態3のオンライン教示点の設定制御のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明の実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。

【0012】

30

＜実施の形態1＞

実施の形態1のロボットシステムは、修正前の教示点からステレオカメラ103の被写界深度方向にオフセットさせた撮影点にロボットハンド102を位置決めて、マーカ105を撮影する。

【0013】

（ロボットシステム）

図1はロボットシステムの構成の説明図である。図1に示すように、ロボット装置の一例であるロボットシステム100は、人手による組立作業にかえて、ロボットアーム101により複数工程の組立作業を実現する。ロボットシステム100は、多関節（例えば6関節）のロボットアーム101を用いて、ロボットシステム100の作業台104上に保持されたワークの組立処理を行う。

40

【0014】

多関節ロボットアームの一例であるロボットアーム101は、作業部の一例であるロボットハンド102を移動させる。ロボットハンド102は、ロボットアーム101のエンドエフェクタとして、ロボットアーム101に取り付けられている。ロボットハンド102は、多指（例えば3指）の把持工具である。

【0015】

作業台104は、ロボットハンド102を用いて処理される対象物を支持する。制御部の一例であるロボットコントローラ109は、ロボットアーム101を制御する。

【0016】

50

(ステレオカメラ)

図2はステレオカメラを把持したロボットハンドの説明図である。図2に示すように、ステレオカメラ103は、2台のカメラを備えた三次元視覚センサである。ステレオカメラ103は、パッシブ式のステレオカメラを用いた三次元視覚センサである。

【0017】

オンライン教示作業を自動化するため、ロボットハンド102は、ステレオカメラ103を把持する仕様に設計されている。ロボットハンド102の座面に、位置決め用のピン穴201が2つ形成されている。ステレオカメラ103の下面にはピン103pが2本装着されている。ピン穴201にピン103pを挿入することで、ロボットハンド102とステレオカメラ103とは高精度に位置決めされる。

10

【0018】

(ハンドカメラ校正)

図3はハンドカメラ校正装置の説明図である。図2に示すように、ロボットハンド102のピン穴201を原点としてロボットハンド102に固定された座標系をハンド座標系Hと定義する。これに対して、ステレオカメラ103が出力する位置情報の座標系をカメラ座標系Cと定義する。

【0019】

ステレオカメラ103の撮影画像を画像処理して求めた三次元の位置計測結果は、カメラ座標系C上での位置を表す。自動化されたオンライン教示作業では、ステレオカメラ103による三次元計測結果からロボットハンド102の位置を推測する。このため、自動化されたオンライン教示前に、ハンドカメラ校正を実行して、ハンド座標系Hとカメラ座標系Cとの相対位置・姿勢を表すハンドカメラ間変換行列 ${}^H T_C$ を求める。ここでTは、同次変換行列である。たとえば、座標系Hと座標系Cの回転行列を ${}^H R_C$ とし、座標系Hと座標系Cの平行移動行列を ${}^H t_C$ とすると、同次変換行列 ${}^H T_C$ は以下のように表せる。

20

【0020】

【数1】

$${}^H T_C = \begin{pmatrix} {}^H R_C & {}^H t_C \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

30

【0021】

図3に示すように、ハンドカメラ校正装置300は、ロボットハンド102の座面のピン穴201と同形状のピン穴を持つハンドモック301を設置している。ユーザーは、ハンドモック301にステレオカメラ103を設置する。

【0022】

ハンドカメラ校正装置300は、ハンドモック301に対して高精度に位置決めされた位置に校正用マーカ治具302を設置している。校正用マーカ治具302には、ステレオカメラ103で計測可能な指標302mが黒地に白円のパターンで複数配置されている。ハンド座標系における各指標302mの位置は、機械的に高精度に設定されている。一方、指標302mをステレオカメラ103で計測すると、カメラ座標系Cにおける指標302mの位置が求まる。ハンド座標系における各指標302mの位置と、指標302mの計測結果を用いて、最適化計算を解くことにより、ハンドカメラ間変換行列 ${}^H T_C$ を求める。ハンドカメラ校正装置300は、ロボットシステム100を介さずに測定を行うため、高精度にハンドカメラ間変換行列 ${}^H T_C$ を算出可能である。

40

【0023】

(マーカ)

図4はマーカの説明図である。図4に示すように、マーカ105は、インク印刷により、黒地の板に白円を施して指標131、132、133を形成している。マーカ105に

50

おける指標の個数は、三次元のマーカ座標系Mを定義する必要があるため、オンライン教示点の1点当たり3個以上が望ましい。指標の個数が多いほど、三次元位置計測の誤差を平均化できるため、システムとしての精度が上がる。

【0024】

図1に示すように、ロボットシステム100を作動させて行うオンライン教示において、ロボットシステム100の作業台104上に、目標教示点に対応させてマーカ105が設置される。支持部の一例である作業台104に位置決め保持された治具の一例であるマーカ105に指標131、132、133が準備されている。マーカ105は、ロボットシステム100のオンライン教示において実作業時の対象物であるワークの代わりに使用される。

10

【0025】

マーカ105は、ロボットシステム100の実作業時におけるワークとの相対位置・姿勢が高精度に求まる場所に設置される。具体的には、マーカ105は、実作業でワークが載置される作業台104上に直接設置されている。

【0026】

ステレオカメラ103は、オンライン教示を実行する際に、ロボットハンド102により把持される。ステレオカメラ103は、ロボットハンド102に把持される過程で自動的にロボットハンド102に対して位置決められる。ステレオカメラ103は、ロボットハンド102に位置決められた状態で、指標131、132、133を撮影して、マーカ105の三次元の位置・姿勢を測定する。

20

【0027】

オンライン教示では、ロボットハンド102に把持させたステレオカメラ103を用いてマーカ105を計測することにより、カメラマーカ間変換行列 ${}^C T_M$ を求める。Mはマーカ105から定義されるマーカ座標系である。カメラマーカ間変換行列 ${}^C T_M$ と、ハンドカメラ間変換行列 ${}^H T_C$ とを元に、ロボットハンド102とマーカ105の相対位置・姿勢を表す行列 ${}^H T_M$ を求める。

$${}^H T_M = {}^H T_C {}^C T_M$$

【0028】

(ビジョンコントローラ)

ビジョンコントローラ106は、画像処理部107と通信部108とを有するステレオカメラ103の制御コントローラである。ビジョンコントローラ106は、ソフトウェアにより動作するコンピュータに、付随するハードウェア及び専用回路を組み合わせて構成される。

30

【0029】

画像処理部107は、ステレオカメラ103から伝送されたマーカ105の撮影画像の画像データに対して画像処理を行う。画像処理部107は、マーカ105の指標131、132、133の中心位置を三次元計測する。実施の形態1では、マーカ105の指標131、132、133の形状は白丸であるため、白丸中心位置の三次元計測処理について述べる。

【0030】

画像処理部107は、ステレオカメラ103の2台のカメラの撮影画像の輝度レベルに着目して、指標131、132、133が識別できるような適当な閾値を設けて二値化処理を実行する。次に、画像処理部107は、撮影画像の閾値以上の領域のエッジについて楕円近似を行い、楕円中心の画像座標を求める。次に、画像処理部107は、指標131、132、133の撮影画像の楕円中心から求まる視差と、ステレオカメラ103の校正結果とを用いて、三次元位置計測を実施し、指標131、132、133のカメラ座標系Cにおける位置を求める。

40

【0031】

画像処理部107は、カメラ座標系Cにおける各指標位置 ${}^C P_i$ にハンドカメラ間変換行列 ${}^H T_C$ を乗じて、ハンド座標系Hにおける各指標位置を求める。

50

【0032】

通信部108は、ロボットコントローラ109との間で双方向の通信を行う。ビジョンコントローラ106からロボットコントローラ109へは、画像処理部107が三次元計測した、マーカ105のハンド座標系Hにおける各指標131、132、133の位置を送信する。

【0033】

ユーザインタフェース115は、ユーザーがロボットを制御するためのインタフェースである。ユーザインタフェース115は、撮影画像・教示結果の表示を行なう表示部116と、教示点情報の入力を行なう操作部117と、を有する。表示部116は、ディスプレイ等である。操作部117は、マウス、キーボード、ティーチングペンダント等である。

10

【0034】

(ロボットコントローラ)

図5はロボットコントローラの動作の説明図である。図5は不揮発性メモリ113に書き込まれるデータを示す。図1に示すように、ロボットコントローラ109は、ロボットアーム101やロボットハンド102の制御を司る装置である。ロボットコントローラ109は、ロボット制御部110、演算部111、通信部112、不揮発性メモリ113から成る。ロボットコントローラ109は、ソフトウェアにより動作するコンピュータに、付随するハードウェア及び専用回路を組み合わせて構成される。

【0035】

20

ロボット制御部110は、ロボットアーム101及びロボットハンド102の駆動を制御する。ロボットアーム101、ロボットハンド102に移動命令を送信し、ロボットアーム101、ロボットハンド102の位置・姿勢を制御する。

【0036】

演算部111は、ビジョンコントローラ106から受信した、マーカ105のハンド座標系Hにおける各指標位置や、不揮発性メモリ113内のデータを用いて、ロボットアーム101の移動量を算出し、ロボット制御部110に移動量を送信する。移動量の算出方法に関しては後述する。また、オンライン教示の完了後に、オンライン教示点を不揮発性メモリ113に書き込む。

【0037】

30

通信部112は、ビジョンコントローラ106と通信を行う。ロボットコントローラ109からビジョンコントローラ106へはステレオカメラ103の撮影指令を送信する。撮影指令に応答して、ステレオカメラ103は、撮影工程における撮影処理を実行する。

【0038】

図5に示すように、不揮発性メモリ113には、演算部111が移動量を算出するために必要な情報や、オンライン教示点のデータが書き込まれる。

【0039】

(オフライン教示装置)

図1に示すように、ロボットシステム100では、ロボットアーム101を教示点から教示点に移動させることにより、ワークの組立処理を実現している。そして、教示点を効率よく作成するために、コンピュータを用いて処理をシミュレーションするオフライン教示が利用されている。

40

【0040】

図5に示すように、オフライン教示装置114は、CAD (Computer Aided Design) ソフトウェアを用いて、生産工程をシミュレーションするコンピュータである。ユーザーは、オフライン教示装置114上でソフトウェアを操作してロボットハンド102によるワーク(701:図6)の処理プログラムを作成する。そして、処理プログラム上の重要な作業位置や移動経路の要所に仮想教示点の一例であるオフライン教示点が設定されている。

【0041】

50

しかし、オフライン教示装置 114 により設定されたオフライン教示点は、ロボットアーム 101 やワークの加工・組立誤差などの様々な誤差要因を含んでいるので、実機でそのまま使用すると大きく位置ずれが発生する。そして、ロボットアーム 101 やワークの加工・組立誤差、ロボットシステム 100 の機体差等をオフライン教示で正確に補正するのは困難である。

【0042】

そこで、ロボットシステム 100 では、図 1 に示すように、オフライン教示で設定されたオフライン教示点を、ロボットシステム 100 の実機で測定して誤差を測定し、誤差を除いたオンライン教示点に修正している。

【0043】

10

(比較例)

比較例 1 では、処理対象物上とロボットハンド 102 にそれぞれピンを取り付け、一對のピンの間の相対位置・姿勢のずれが基準内に収まるように、ロボットアーム 101 を手動操作してオフライン教示点をオンライン教示点に修正する。

【0044】

しかし、比較例 1 の治具を用いた手作業のオンライン教示は、作業時間が膨大となり、工場におけるロボットシステムの稼働率を低下させてしまう。

【0045】

比較例 2 では、特許文献 1 に示されるように、処理対象物上にマーカを設置し、ロボットアームの作業部に搭載した三次元視覚センサでマーカ位置を計測する。そして、三次元視覚センサによるマーカ位置の計測結果に基づいて、オフライン教示点をオンライン教示点へ移動させる三次元修正量を取得している。

20

【0046】

しかし、比較例 2 では、オンライン教示の際に、オフライン教示点でロボットアームの作業部が作業することが前提となっている。しかし、ロボットアームの作業部をオフライン教示点に位置決めしたときに、作業部に搭載された三次元視覚センサの被写界深度方向の撮影可能範囲内に常にマーカが存在するとは限らない。つまり、ロボットアームが作業する位置にある時に、処理対象物上のマーカを三次元視覚センサのピントが合った状態で撮影できるとは限らない。このため、ロボットアームの作業部が作業する位置で、三次元視覚センサを用いてオフライン教示点をオンライン教示点に高精度に修正できない場合がある。

30

【0047】

そこで、実施の形態 1 では、オンライン教示の際に、三次元視覚センサをオフライン教示点から被写界深度方向にオフセットしたオフライン補正用教示点に位置決めて、マーカ 105 を撮影する。

【0048】

(オフライン補正用教示点)

図 6 はオフライン補正用教示点の説明図である。図 6 中、(a) はオフライン教示点、(b) はオフライン補正用教示点である。ここでは、オフラインオフセットを ${}^T \circ T_{W_o}$ とベクトル表示し、オフライン教示点を ${}^M P_{W_o}$ 、オフライン補正用教示点を ${}^M P_{T_o}$ 、オンライン補正用教示点を ${}^M P_{T_r}$ 、オンライン教示点を ${}^M P_{W_r}$ とそれぞれ座標表示している。ここで、P とは左上の添え字の座標系から見た、右下の添え字の座標系の原点、X 軸、Y 軸を定義する 3 点の位置を組み合わせた同次座標系の行列とする。たとえば、マーカ座標系からみた座標系 W_o の原点を (X_o, Y_o, Z_o) 、X 軸上の点を (X_x, Y_x, Z_x) 、Y 軸上の点を (X_y, Y_y, Z_y) とすると、オフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ は以下のように表せる。

40

【0049】

【数 2】

$${}^M P_{W_o} = \begin{pmatrix} X_o & X_x & X_y \\ Y_o & Y_x & Y_y \\ Z_o & Z_x & Z_y \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

【0050】

図6の(a)に示すように、オフライン教示装置114は、ロボットハンド102がオフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ においてワーク701を把持するように、生産工程をシミュレーションしている。そして、図1に示すように、ロボットシステム100の実機で行うオンライン教示では、ワーク701に対応させて配置したマーカ105をロボットハンド102に把持させたステレオカメラ103で撮影する。

10

【0051】

図6の(b)に示すように、オンライン教示では、ステレオカメラ103を把持したロボットハンド102を、オフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ からオフセット ${}^T o T_{W_o}$ だけ遠ざけたオフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ に位置決めて、マーカ105を撮影する。

【0052】

オフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ にロボットハンド102を位置決めた状態では、指標131、132、133がステレオカメラ103の測定可能範囲内である。しかし、オフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ にロボットハンド102を位置決めた状態では、指標131、132、133がステレオカメラ103の測定可能範囲外である。すなわち、オフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ にロボットハンド102を位置決めたとき、ステレオカメラ103による指標131、132、133の測定精度は、オフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ にロボットハンド102を位置決めたときよりも高い。

20

【0053】

撮影点作成装置の一例であるオフライン教示装置114は、ロボットシステム100に供給される撮影点の一例であるオフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ を作成する。オフライン教示装置114は、判断工程の判断処理において、ロボットハンド102をオフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ に位置させたとき、ステレオカメラ103の測定可能範囲内に指標が存在するか否かを判断する。続いて、撮影点設定工程の撮影点設定処理では、測定可能範囲内に指標が存在する場合、オフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ をそのまま撮影点のオフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ として設定する。しかし、測定可能範囲外に指標が存在する場合、オフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ からステレオカメラ103の被写界深度方向にオフセットした位置を撮影点の一例であるオフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ として設定する。

30

【0054】

(オフライン補正用教示点の設定制御)

図7はオフライン補正用教示点の設定制御のフローチャートである。図7に示すように、オフライン教示装置114は、オフライン教示で作成した処理プログラム上のいくつかのタイミングにオフライン教示点を決定する(S701)。オフライン教示点を作成する際に使用されるのは、ワーク等の処理対象物の設計データ、ロボットハンド102とワークの相対位置・姿勢を表すデータ等である。

40

【0055】

オフライン教示装置114は、ロボットシステム100におけるマーカ105の設置個所を決定する(S702)。実施の形態1では、図6の(b)に示すように、ワーク701を置き換えて作業台104上にマーカ105が設置されている。オフライン教示装置114は、ロボットハンド102がオフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ にあるときに、マーカ105をステレオカメラ103の被写界深度内で撮影可能か否かを判断する(S703)。

【0056】

オフライン教示装置114は、マーカ105を被写界深度内で撮影不可能である場合(S703のNo)、オフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ から被写界深度内で撮影可能な位置までの

50

移動量であるオフラインオフセット $T^o T_{W_o}$ を算出する(S704)。オフライン教示装置114は、オフライン教示点 $^M P_{W_o}$ からオフラインオフセット $T^o T_{W_o}$ 離れた位置をオフライン補正用教示点 $^M P_{T_o}$ として設定する(S705)。

【0057】

オフライン教示装置114は、マーカ105を撮影可能である場合(S703のYes)、オフライン教示点 $^M P_{W_o}$ と等しいオフライン補正用教示点 $^M P_{T_o}$ を設定する(S705)。オフライン教示装置114は、オフライン補正用教示点 $^M P_{T_o}$ とオフラインオフセット $T^o T_{W_o}$ とを、ロボットコントローラ109内の不揮発性メモリ113に保存する(S706)。また、オフライン教示装置114は、オフライン補正用教示点にロボットハンド102がある際の、ハンド座標系基準のマーカ105の各指標位置であるマーカ目標位置及び、ステレオカメラ103の被写界深度の各データを不揮発性メモリ113に書き込む。

10

【0058】

このような操作を、シミュレーションされた生産工程の処理プログラムに設定された複数のオフライン教示点で繰り返す。

【0059】

(オンライン補正用教示点)

図8はオンライン補正用教示点の説明図である。図8中、(a)はオンライン補正用教示点、(b)はオンライン教示点である。

【0060】

20

ロボットシステム100は、オフライン補正用教示点においてステレオカメラ103でマーカ105を測定して、オフライン補正用教示点をオンライン補正用教示点に修正してから、オフライン教示点をオンライン教示点に修正する。このため、ロボットハンド102が作業する位置とは異なる位置で教示を実施する場合においても、精度の粗いオフライン補正用教示点 $^M P_{T_o}$ を精度の高いオンライン教示点 $^M P_{W_r}$ へ修正できる。

【0061】

図6の(a)に示すように、オフライン教示において設定されたオフライン教示点 $^M P_{W_o}$ は、ロボットコントローラ109の中で定義された「ロボットアーム101が処理を実施するときのロボットハンド102の位置・姿勢」を表すデータである。

【0062】

30

図8の(a)に示すように、オンライン補正用教示点 $^M P_{T_r}$ は、オンライン教示においてステレオカメラ103を用いて計測した三次元補正量を、オフライン補正用教示点 $^M P_{T_o}$ に加えたロボットハンド102の位置・姿勢データである。

【0063】

図8の(b)に示すように、オンラインオフセット $T^r T_{W_r}$ は、オンライン補正用教示点 $^M P_{T_r}$ からオンライン教示点 $^M P_{W_r}$ を求めるための位置・姿勢データである。

【0064】

実施の形態1では、オンラインオフセット $T^r T_{W_r}$ は、オフラインオフセット $T^o T_{W_o}$ と同じ値とする。オンライン補正用教示点 $^M P_{T_r}$ にオンラインオフセット $T^r T_{W_r}$ を加えることによりオンライン教示点 $^M P_{W_r}$ を算出する。

40

【0065】

(オンライン教示点の設定制御)

図9は実施の形態1のオンライン教示点の設定制御のフローチャートである。図9に示すように、ユーザーは、ステレオカメラ103が着脱式の場合、ロボットハンド102にステレオカメラ103を把持させる(S901)。ユーザーが操作部117にあるオンライン教示の開始ボタンを押すと、ロボットコントローラ109は、オンライン教示を自動的に実行する(S902~S907)。

【0066】

ロボットコントローラ109は、不揮発性メモリ113から演算部111へオフライン補正用教示点を読み出し、ロボットアーム制御工程におけるロボットアーム制御処理を行

50

う。ロボットアーム制御処理では、ロボットアーム101をオフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ に移動させる(S902)。

【0067】

ロボットコントローラ109は、撮影工程(処理)を行うために、通信部112を介して、ビジョンコントローラ106に撮影指令を送信する。ビジョンコントローラ106は、ステレオカメラ103に撮影指令を送り、マーカ105の撮影画像を得る。画像処理部107は、撮影画像に対して画像処理を行い、現在のマーカ位置の計測を行なう。ビジョンコントローラ106は、通信部108を介して、計測結果をロボットコントローラ109に送信する(S903)。

【0068】

ロボットコントローラ109は、受信した現在のマーカ位置と不揮発性メモリ113内のマーカ目標位置から、現在のマーカ位置の位置ずれ量を計測し、位置ずれ量が0に近くようにロボットハンド102を移動させる(S904)。つまり、補正工程における補正処理では、指標131、132、133の撮影結果に基づいて、ロボットアーム101を制御することにより、ロボットハンド102を目標撮影点に移動させる。これにより、ロボットハンド102は、オンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ に位置決められ、ロボットコントローラ109は、ロボットハンド102の移動結果に基づいてオンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ のデータを取得する。

【0069】

ロボットコントローラ109は、不揮発性メモリ113からオフラインオフセット ${}^{T_o} T_{W_o}$ を読み出し、オフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ においてオフラインオフセット ${}^{T_o} T_{W_o}$ が設定されているか否かを判断する(S905)。ロボットコントローラ109は、オフラインオフセット ${}^{T_o} T_{W_o}$ が設定されていない場合(S905のNo)、オンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ をそのままオンライン教示点 ${}^M P_{W_r}$ として登録する(S907)。

【0070】

ロボットコントローラ109は、オフラインオフセット ${}^{T_o} T_{W_o}$ が設定されている場合(S905のYes)、オンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ からオフラインオフセット ${}^{T_o} T_{W_o}$ を差し引いた位置をオンライン教示点 ${}^M P_{W_r}$ として登録する(S906、S907)。

【0071】

このような操作を、シミュレーションされた生産工程に設定された複数のオフライン教示点 ${}^M P_{T_o}$ で繰り返して、それぞれに対応するオンライン教示点 ${}^M P_{W_r}$ に修正する。

【0072】

図1に示すように、カードリーダー118に挿入された記録媒体の一例であるメモリカード118mには、図9に示すロボットシステム100の教示点補正方法をコンピュータに実行させるためのプログラムが記録されている。

【0073】

(ロボットハンドの移動量の算出)

ロボットコントローラ109は、不揮発性メモリ113からマーカ目標位置を読み出す。実施の形態1では、マーカ105の指標の点数を3点としているので、3点のマーカ目標位置の情報をを用いて目標マーカ座標系 M_o を設定する。次に、現在のマーカ位置情報から、現在マーカ座標系 M_n を設定する。ロボットコントローラ109は、目標マーカ座標系 M_o と現在マーカ座標系 M_n 間の相対位置・姿勢を算出して、ロボットアーム101の移動量を算出し、算出した移動量分、ロボットアーム101を移動させる。移動後のロボットハンド102の位置・姿勢を、オンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ と呼ぶ。オフラインオフセットを ${}^{T_o} T_{W_o}$ とし、オンライン補正用教示点を ${}^M P_{T_r}$ とすると、オンライン教示点 ${}^M P_{W_r}$ は次式(1)により求まる。

【0074】

10

20

30

40

【数 3】

$${}^M P_{Wr} = {}^{To} T_{Wo} {}^M P_{Tr} \quad \text{式 (1)}$$

【0075】

式1において、Tは同次変換行列を表し、左上の添え字は移動前、右下の添え字は移動後の座標系を意味する。

【0076】

(実施の形態1の効果)

実施の形態1では、オフライン補正用教示点においてマーカ105を撮影するので、ステレオカメラ103に被写界深度の制約があっても、ロボットハンド102のオフライン教示点を正確に補正できる。

10

【0077】

実施の形態1では、ステレオカメラ103は、ロボットハンド102に位置決められた状態で、指標131、132、133を撮影して、マーカ105の三次元の位置・姿勢を測定する。このため、オンライン教示点におけるロボットハンド102の位置誤差と姿勢誤差とを同時に修正できる。

【0078】

実施の形態1では、指標131、132、133に対してステレオカメラ103の被写界深度方向を含む方向にオフセットしたオフライン教示点にロボットハンド102を位置させる。このため、ロボットハンド102にステレオカメラ103を位置決めできる範囲が広くなり、実施の形態1のように、ロボットハンド102に把持させる簡易な取り付け方法、不要な場合には簡単に取り外せる取り付け方法が可能になる。

20

【0079】

実施の形態1では、ロボットハンド102をオフライン補正用教示点に位置させた状態で、ステレオカメラ103により指標を撮影する。このため、ステレオカメラ103の被写界深度方向の撮影可能範囲の制約があっても、指標の位置を高精度に測定できる。

【0080】

実施の形態1では、指標131、132、133の撮影結果に基づいて、ロボットアーム101を制御することにより、ロボットハンド102を目標撮影点に移動させる。このため、目標撮影点でさらにマーカ105を撮影して、目標撮影点が正確であることを確認できる。

30

【0081】

実施の形態1では、オフライン教示点からオフライン補正用教示点まで離反方向にオフセットする。離反ベクトルとは反対方向で大きさが等しい接近ベクトルを目標撮影点に加算することにより修正された教示点を求める。このため、ステレオカメラ103を把持したロボットハンド102をオンライン教示点まで実際に移動させる必要が無い。

【0082】

実施の形態1では、オフライン補正用教示点にロボットハンド102を位置決めるとき、ステレオカメラ103による指標の測定精度は、オフライン教示点にロボットハンド102を位置決めるときよりも高い。このため、オフライン教示点又はオフライン補正用教示点の位置ずれ量を正確に求めることができる。オフライン補正用教示点を出発点として、オンライン補正用教示点へロボットハンド102を正確に移動させることができる。

40

【0083】

実施の形態1では、オフライン補正用教示点にロボットハンド102を位置決められた状態では、指標がステレオカメラ103の測定可能範囲内である。しかし、オフライン教示点にロボットハンド102を位置決められた状態では、指標がステレオカメラ103の測定可能範囲外である。このため、ステレオカメラ103により指標を確実に測定して、オンライン教示点を高い信頼性で確実に設定できる。

【0084】

実施の形態1では、ステレオカメラ103は、ロボットハンド102により把持された

50

段階で、既にロボットハンド102に位置決められている。このため、把持後にステレオカメラ103の位置調整をする必要が無い。

【0085】

実施の形態1では、指標は作業台104に位置決め保持されたマーカ105に設けられる。このため、通常はマーカ105を取り外してコンパクトにワークを処理できる。ワークの処理に伴うマーカ105の汚れも回避できる。

【0086】

＜実施の形態2＞

実施の形態2では、オンライン補正用教示点を起点にして補助撮影を行うことにより、オンライン教示点を再修正する。ロボットシステム及び補助撮影以外の構成及び制御は実施の形態1と同一であるため、図10中、実施の形態1と共通する部材には、図1と共通の符号を付して重複する説明を省略する。

【0087】

（オンラインオフセットの傾き）

図10はオンラインオフセットの傾きの説明図である。図10中、（a）はオフライン教示、（b）はオンライン教示、（c）はオンラインオフセットの補正である。

【0088】

図6の（a）、（b）及び図8の（a）、（b）に示すように、実施の形態1では、離反ベクトルの一例であるオフラインオフセット ${}^T \circ T_{W_o}$ と接近ベクトルの一例であるオンラインオフセット ${}^T \circ T_{W_r}$ とが等しいと仮定した。ここで、オフラインオフセット ${}^T \circ T_{W_o}$ が短い場合はオフラインオフセット ${}^T \circ T_{W_o}$ とオンラインオフセット ${}^T \circ T_{W_r}$ とを等しいとみなせるが、長い場合は両者の相対的な角度差が問題になる。そこで、実施の形態2では、オフラインオフセット ${}^T \circ T_{W_o}$ とオンラインオフセット ${}^T \circ T_{W_r}$ の角度差の影響を取り除くようにオンライン教示を行う。

【0089】

図10の（a）、（b）に示すように、座標系T、N、Wは、それぞれ補正用教示点、ステレオカメラ103の被写界深度内での移動時、及び補正用教示点にオフセットを加えた教示点でのハンド座標系である。

【0090】

図10の（a）がオフライン教示時にオフラインオフセットを印加した状態を示した図である。実施の形態2でも、実施の形態1と同様な手順でオフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ が設定され、オフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ にオフラインオフセット ${}^T \circ T_{W_o}$ を付与してオフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ を設定する。

【0091】

そして、ロボットハンド102をオフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ に位置決めてステレオカメラ103によりマーカ105を撮影して、マーカ105の位置ずれ量を測定する。そして、ロボットハンド102をオフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ からオンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ へ移動させて位置ずれ量を0に近づける。

【0092】

図10の（b）は、オンライン教示において、ロボットコントローラ109が補正前のオンラインオフセットをオンライン補正用教示点に印加した状態である。ロボットハンド102をオンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ に位置決めたととき、ステレオカメラ103によりマーカ105を撮影すれば、マーカ105の位置ずれ量は0に近い値となっている。

【0093】

しかし、オンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ において位置ずれが0に近い値であっても、オンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ からオンラインオフセット ${}^T \circ T_{W_r}$ だけ移動したオンライン教示点 ${}^M P_{W_r}$ において位置ずれが0に近くなるとは限らない。

【0094】

ロボットコントローラ109がオフラインオフセット ${}^T \circ T_{W_o}$ と等しいオンラインオフセット ${}^T \circ T_{W_r}$ をオンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ に印加したとする。このとき、ロ

10

20

30

40

50

ロボットアーム 101 の加工誤差や撓みによるリンクパラメータ算出誤差が累積して、ロボットコントローラ 109 は、オフラインオフセット $T^o T_{W_o}$ に対して傾いたオンラインオフセット $T^r T_{W_r}$ を印加する可能性がある。オンラインオフセット $T^r T_{W_r}$ の方向とオフラインオフセット $T^o T_{W_o}$ の方向とが異なる場合、オンライン教示点 ${}^M P_{W_r}$ とオフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ とが大きく異なってしまう。

【0095】

そこで、実施の形態 2 では、オンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ へ位置決めたロボットアーム 101 をオンラインオフセット $T^r T_{W_r}$ の方向へ移動させたステレオカメラ 103 の被写界深度内でマーカ 105 を補助撮影する。

【0096】

補助撮影では、オンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ からオンラインオフセット $T^r T_{W_r}$ の方向へオンラインオフセット $T^r T_{W_r}$ よりも小さく移動させた補助撮影点へロボットハンド 102 を位置決める。そして、補助撮影点へロボットハンド 102 を位置決めた状態で指標 131、132、133 をステレオカメラ 103 により撮影する。

【0097】

ロボットコントローラ 109 は、補助撮影点における指標 131、132、133 の撮影画像に基づいて、オフラインオフセット $T^o T_{W_o}$ とオンラインオフセット $T^r T_{W_r}$ の角度ずれを補正する。補正後のオンラインオフセットを用いて、オンライン補正用教示点をオンライン教示点に補正する。

【0098】

(実施の形態 2 の制御)

図 11 は実施の形態 2 のオンライン教示点の設定制御のフローチャートである。図 11 中、ステップ S1101～1105 は図 9 に示す実施の形態 1 のステップ S901～905 と同一であるため、詳細な説明を省略する。

【0099】

ユーザーは、ロボットハンド 102 にステレオカメラ 103 を把持させて、オンライン教示を開始する (S1101)。

【0100】

ロボットコントローラ 109 は、ステレオカメラ 103 を把持したロボットアーム 101 をオフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ に移動させる (S1102)。

【0101】

ロボットコントローラ 109 は、ステレオカメラ 103 によりマーカ 105 の撮影画像を取得し、画像処理部 107 によりマーカ位置の計測を行なう (S1103)。

【0102】

ロボットコントローラ 109 は、ロボットアーム 101 を移動させて、オフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ をオンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ に修正する (S1104)。

【0103】

ロボットコントローラ 109 は、オフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ においてオフラインオフセット $T^o T_{W_o}$ が設定されていない場合 (S1105 の No)、オンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ をそのままオンライン教示点 ${}^M P_{W_r}$ として登録する (S1109)。

【0104】

ロボットコントローラ 109 は、オフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ においてオフラインオフセット $T^o T_{W_o}$ が設定されている場合 (S1105 の Yes)、ロボットアーム 101 をオンラインオフセット $T^r T_{W_r}$ 方向に移動する (S1106)。

【0105】

ロボットコントローラ 109 は、ステレオカメラ 103 の被写界深度内にマーカ 105 が入る範囲内の撮影点で、マーカ 105 を再び撮影し、マーカ 105 とロボットハンド 102 の相対関係 ${}^N c T_M$ を計測する (S1107)。

【0106】

ロボットコントローラ 109 は、相対関係 ${}^N c T_M$ を用いて、補正後オンラインオフセ

10

20

30

40

50

ット ${}^T {}^r T_{W_o}$ を算出する（S 1 1 0 8）。補正後オンラインオフセット ${}^T {}^r T_{W_o}$ は、オンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ の位置ずれを加味したオフセットである。

【0 1 0 7】

ロボットコントローラ 1 0 9 は、オンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ と補正後オンラインオフセット ${}^T {}^r T_{W_o}$ を用いて、補正後オンライン教示点 ${}^M P_{W_r}$ を算出し、不揮発性メモリ 1 1 3 に保存する（S 1 1 0 9）。

$${}^M P_{W_r} = {}^T {}^r T_{W_o} {}^M P_{T_r} \quad ({}^M P_{W_o})$$

【0 1 0 8】

このような操作を、ロボットアーム 1 0 1 の処理プログラム上の複数のオフライン補正用教示点で繰り返して、複数のオフライン教示点を、それぞれに対応するオンライン教示点に修正する。

10

【0 1 0 9】

（オンラインオフセットの補正）

図 1 0 の（c）は、オンラインオフセットを印加した時に、ステレオカメラ 1 0 3 とマーカ 1 0 5、ハンドカメラ間変換行列 ${}^H T_C$ を用いて計測されるハンド座標系を記した図である。図 2 に示すように、 ${}^H T_C$ はカメラ座標系 C からハンド座面上のピン穴 2 0 1 で定義されるハンド座標系 H への変換行列である。

【0 1 1 0】

オンラインオフセットの補正方法について、数式を用いながら説明する。オフライン補正用教示点は ${}^M P_{T_o}$ 、オンライン補正用教示点は ${}^M P_{T_r}$ である。ステップ S 1 1 0 4 により ${}^M P_{T_o}$ は ${}^M P_{T_r}$ である。オフライン教示装置 1 1 4 から求まるオフラインオフセットは ${}^T {}^o T_{W_o}$ である。補正前のオンラインオフセットは ${}^T {}^r T_{W_r}$ である。

20

【0 1 1 1】

これらの値を用いると、オフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ 及び補正前のオンライン教示点 ${}^M P_{W_r}$ は次式のように表せる。

$${}^M P_{W_o} = {}^T {}^o T_{W_o} {}^M P_{T_o}$$

$${}^M P_{W_r} = {}^T {}^r T_{W_r} {}^M P_{T_r}$$

【0 1 1 2】

理想はオンラインオフセット印加後に、オフライン教示点 ${}^M P_{W_o}$ にロボットハンド 1 0 2 を持ってくることで、オンラインオフセットを ${}^T {}^r T_{W_r}$ から補正後オンラインオフセット ${}^T {}^r T_{W_o}$ に補正する必要がある。補正後オンラインオフセット ${}^T {}^r T_{W_o}$ は式（2）のように変形できる。

30

【0 1 1 3】

【数 4】

$${}^{Tr} T_{W_o} = {}^{Tr} T_{T_o} {}^{To} T_{W_o}$$

式（2）

【0 1 1 4】

オフラインオフセット ${}^T {}^o T_{W_o}$ は既知なので、オンラインオフセットを補正するには ${}^T {}^r T_{T_o}$ を求める必要がある。算出方法について説明する。

【0 1 1 5】

40

図 1 1 のステップ S 1 1 0 6 におけるロボットハンド 1 0 2 の移動量を ${}^T {}^r T_{N_r}$ とし、ステップ S 1 1 0 7 において計測したマーカ 1 0 5 とロボットハンド 1 0 2 の相対関係を ${}^N {}^c T_M$ とする。 ${}^N {}^c T_M$ は、式（3）のように変形できる。

【0 1 1 6】

【数 5】

$${}^{Nc} T_M = {}^{Nc} T_{Tc} {}^{Tc} T_M$$

式（3）

【0 1 1 7】

式（3）において、オンライン補正用教示点 P_{T_r} でのロボットハンド 1 0 2 とマーカ 1 0 5 の位置関係 ${}^T {}^c T_M$ は、ステップ S 1 1 0 4 の処理で既知となっている。式（3）

50

から、オンラインオフセット印加前後のロボットハンド 102 の相対関係 ${}^NcT_{Tc}$ は式 (4) のように求まる。

【0118】

【数6】

$${}^{Nc}T_{Tc} = {}^{Nc}T_M \left({}^{Tc}T_M \right)^{-1} \quad \text{式 (4)}$$

【0119】

式 (4) の相対関係 ${}^NcT_{Tc}$ の平行移動成分 ${}^{Tc}t_{Nc}$ が求まる。オンライン補正用教示点にてステレオカメラ 103 が計測するハンド座標系 Tc は、オフライン補正用教示点でのハンド座標系 To とほぼ等しい。また、座標系 Nc と Nr の原点位置もほぼ等しい。よって、 ${}^{Tc}t_{Nc} = {}^{To}t_{Nr}$ である。この ${}^{To}t_{Nr}$ は次式 (5) のように変形できる。

10

【0120】

【数7】

$${}^{To}t_{Nr} = {}^{To}T_{Tr} {}^{Tr}t_{Nr} = {}^{To}T_{Tr} {}^{To}t_{No} \quad \text{式 (5)}$$

【0121】

オンラインオフセット印加時、オフセット長に対して線形にロボットハンド 102 位置は推移すると仮定し、 ${}^{Tr}t_{Nr} = {}^{To}t_{No}$ を用いた。 ${}^{To}T_{Tr}$ の平行移動成分がすべて 0 であると仮定すると、回転成分の 3 変数のみが残るため、式 (5) は解くことが可能である。これを解くことにより ${}^{Tr}T_{To}$ を求め、得られた ${}^{Tr}T_{To}$ を式 (2) に代入することにより、補正後オンラインオフセット ${}^{Tr}T_{Wo}$ を算出することができる (S1108)。

20

【0122】

その後、オンライン補正用教示点 ${}^M P_{Tr}$ と補正後オンラインオフセット ${}^{Tr}T_{Wo}$ とを用いて、補正後オンライン教示点 ${}^M P_{Wr} = {}^NcT_M ({}^M P_{Wo})$ を算出することができる (S1109)。

【0123】

このようにして一点のオンライン教示点 ${}^M P_{Wr}$ の座標が算出される。ロボットアーム 101 の処理プログラム上に教示点が複数ある場合、全ての教示点に対して同様の演算を行う。

30

【0124】

なお、実施の形態 2 では、ステレオカメラ 103 の被写界深度内で 1 点だけ補助撮影を実行したが、被写界深度内の複数点で補助撮影を実行してオンライン教示点を補正してもよい。これにより、ステレオ計測誤差などの誤差が平均化されるため、より高精度にオンライン教示点を補正できる。

【0125】

この場合、ロボットハンド 102 を被写界深度内で 1 点移動させたごとに式 (5) を算出し、式 (5) の左辺と右辺の差分が 0 となるように、 ${}^{To}T_{Tr}$ の 6 自由度の変数を最適化計算で求めればよい。これを式 (2) に代入することにより、補正後オンラインオフセットを算出できる。

40

【0126】

(実施の形態 2 の効果)

実施の形態 2 は、目標撮影点からオフラインオフセットのベクトルの反対方向に、オフラインオフセットよりも小さく移動させた補助撮影点へ、ロボットハンド 102 を位置決めてマーカ 105 を撮影する補助撮影を実行する。そして、補助撮影におけるマーカ 105 の撮影結果に基づいてオンラインオフセットを修正する。このため、オフラインオフセットとオンラインオフセットの方向のずれに伴うオンライン教示点の誤差を取り除くことができる。

【0127】

50

＜実施の形態３＞

実施の形態３では、オンライン補正用教示点を起点にして１回以上撮影する補助撮影を行うことにより、オンライン教示点を再修正する。ロボットシステム及び補助撮影以外の構成及び制御は実施の形態１と同一であるため、図１２中、実施の形態１と共通する部材には、図１と共通の符号を付して重複する説明を省略する。

【０１２８】

（オンラインオフセットの湾曲）

図１２はオンラインオフセットの説明図である。図１２中、（a）はオフライン教示、（b）はオンライン教示、（c）はオンラインオフセットの補正である。

【０１２９】

実施の形態２では、図１０の（b）に示すように、オンライン補正用教示点へロボットハンド１０２を移動後、オンラインオフセット印加時にロボットハンド１０２が直線的に移動すると仮定してオンライン教示点の座標を計算した。

【０１３０】

これに対して、実施の形態３では、図１２の（b）に示すように、オンライン補正用教示点へロボットハンド１０２を移動後、オンラインオフセット印加時にロボットハンド１０２が曲線的に移動する場合も想定して、オンライン教示点の座標を計算する。オンラインオフセットのオフセット長が長い場合、オンラインオフセットの印加時のロボットハンド１０２の軌跡を線形と見なせない場合がある。

【０１３１】

すなわち、オンラインオフセットのオフセット長が短ければ、オンラインオフセット印加時のロボットハンド１０２の軌跡を線形と見なせる。そこで、実施の形態３では、ステレオカメラ１０３の被写界深度内で実施の形態２の操作と処理とを繰り返して、オンラインオフセットのベクトルを修正することにより、より正確なオンライン教示点の座標を求める。

【０１３２】

（実施の形態３の制御）

図１３は実施の形態３のオンライン教示点の設定制御のフローチャートである。図１３に示すステップＳ１３０１～Ｓ１３０７は、図１１に示す実施の形態２のステップＳ１１０１～Ｓ１１０７と同一であるため、詳細な説明を省略する。

【０１３３】

ユーザーは、ロボットハンド１０２にステレオカメラ１０３を把持させて、オンライン教示を開始する（Ｓ１３０１）。

【０１３４】

ロボットコントローラ１０９は、ステレオカメラ１０３を把持したロボットアーム１０１をオフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ に移動させる（Ｓ１３０２）。

【０１３５】

ロボットコントローラ１０９は、ステレオカメラ１０３によりマーカ１０５の撮影画像を取得し、画像処理部１０７によりマーカ位置の計測を行なう（Ｓ１３０３）。

【０１３６】

ロボットコントローラ１０９は、ロボットアーム１０１を移動させて、オフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ をオンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ に修正する（Ｓ１３０４）。

【０１３７】

ロボットコントローラ１０９は、オフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ においてオフラインオフセット ${}^{T_o} T_{W_o}$ が設定されていない場合（Ｓ１３０５のNo）、オンライン補正用教示点 ${}^M P_{T_r}$ をオンライン教示点 ${}^M P_{W_r}$ として登録する（Ｓ１３１１）。

【０１３８】

ロボットコントローラ１０９は、オフライン補正用教示点 ${}^M P_{T_o}$ においてオフラインオフセット ${}^{T_o} T_{W_o}$ が設定されている場合（Ｓ１３０５のYes）、ロボットアーム１０１をオンラインオフセット ${}^{T_o} T_{W_o}$ 方向に移動する（Ｓ１３０６）。

【0139】

ロボットコントローラ109は、ステレオカメラ103の被写界深度内でロボットハンド102を少しずつ移動してマーカ105を撮影し、撮影画像を画像処理してマーカ105とロボットハンド102の相対関係 ${}^NcT_M$ を計測する(S1307)。

【0140】

ロボットコントローラ109は、あらかじめ不揮発性メモリ113に保存された移動点数(n回)の全点に移動完了したかを判断する(S1308)。全点移動完了していない場合(S1308のNo)、ロボットアーム101をオンラインオフセット方向に再び移動させる(S1306)。

【0141】

10

ロボットコントローラ109は、ステレオカメラ103の被写界深度内で移動点数(n回)の移動を終えると(S1308のYes)、取得した複数の相対関係 ${}^NcT_M$ によりオンラインオフセットの補正量のオフセット長特性を求める(S1309)。

【0142】

ロボットコントローラ109は、オンラインオフセットの補正量のオフセット長特性を用いて、オンラインオフセットの補正量を算出し、オフセット長に対応するオンラインオフセットの補正量を算出する(S1310)。

【0143】

ロボットコントローラ109は、実施の形態2のステップS909と同様の処理を行って補正後オンライン教示点 ${}^MP_{Wr}$ を算出し、不揮発性メモリ113にオンライン教示点 ${}^MP_{Wr}$ として登録する(S1311)。

20

【0144】

(オンラインオフセットの補正量のオフセット長特性)

実施の形態3のオンラインオフセットの補正方法について、数式を用いながら説明する。図12の(a)に示すように、オフラインオフセットを ${}^{To}T_{Wo}$ とする。図12の(b)に示すように、補正前オンラインオフセットを ${}^{Tr}T_{Wr}$ とする。

【0145】

このとき、理想はオンラインオフセット ${}^{Tr}T_{Wr}$ 印加後に、オンライン教示点 ${}^MP_{Wo}$ にロボットハンド102を持ってくることなので、オンラインオフセットを ${}^{Tr}T_{Wr}$ から補正後オンラインオフセット ${}^{Tr}T_{Wo}$ に補正する必要がある。補正後オンラインオフセット ${}^{Tr}T_{Wo}$ は次式(6)のように変形できる。

30

【0146】

【数8】

$${}^{Tr}T_{Wo} = {}^{Tr}T_{To} {}^{To}T_{Wo} \quad \text{式(6)}$$

【0147】

オフラインオフセット ${}^{To}T_{Wo}$ は既知なので、オンラインオフセットを補正するには ${}^{Tr}T_{To}$ を求める必要がある。算出方法について説明する。

【0148】

移動回数がj回目でのハンド座標系を $N(j)$ とすると、j-1回目からj回目のロボットハンド102の移動量は次式のように表せる。

40

$${}^{Nr(j-1)}T_{{}^{Nr(j)}} ({}^{Nc(j-1)}T_{{}^{Nc(j)}})$$

【0149】

図12の(b)に示すように、1回の移動量は小さく、ロボットハンド102の位置変化は線形と見なせる。各回の撮影で取得した(S1307)マーカ105とロボットハンド102の相対位置関係 ${}^{Nc(j-1)}T_M$ 及び ${}^{Nc(j)}T_M$ を用いて ${}^{Nc(j-1)}T_{{}^{Nc(j)}}$ は、次式(7)のように変形される。

【0150】

【数 9】

$${}^{Nc(j-1)}T_{{}^{Nc(j)}} = {}^{Nc(j-1)}T_M \left({}^{Nc(j)}T_M \right)^{-1} \quad \text{式 (7)}$$

【0151】

${}^{Nc(j-1)}T_{{}^{Nc(j)}}$ の平行移動成分から ${}^{Nc(j-1)}t_{{}^{Nc(j)}}$ が求まる。ステレオカメラ 103 が計測するハンド座標系 Nc は、オフラインハンド座標系 No とほぼ等しい。また、ハンド座標系 Nr と Nc の原点位置もほぼ等しい。

【0152】

このため、 ${}^{Nc(j-1)}t_{{}^{Nc(j)}}$ 、 ${}^{No(j-1)}t_{{}^{Nr(j)}}$ である。この ${}^{No(j-1)}t_{{}^{Nr(j)}}$ は次式 (8) のように変形できる。

10

【0153】

【数 10】

$${}^{No(j-1)}t_{{}^{Nr(j)}} = {}^{No(j-1)}T_{{}^{Nr(j-1)}} {}^{Nr(j-1)}t_{{}^{Nr(j)}} = {}^{No(j-1)}T_{{}^{Nr(j-1)}} {}^{No(j-1)}t_{{}^{No(j)}} \quad \text{式 (8)}$$

【0154】

ここで、ロボットハンド 102 の位置変化は線形とみなせると考えているので、 ${}^{Nr(j-1)}t_{{}^{Nr(j)}}$ 、 ${}^{No(j-1)}t_{{}^{No(j)}}$ とした。 ${}^{No(j-1)}T_{{}^{Nr(j-1)}}$ の平行移動成分がすべて 0 であると仮定すると、回転成分の 3 変数のみが残るため、式 (8) は解くことが可能である。これを解くことにより、ロボットハンド 102 が $P_{{}^{N(j)}}$ にあるときの、オフラインハンド座標系 No とロボットコントローラ 109 が算出するハンド座標系 Nr の相対姿勢成分 $R_x(j)$ 、 $R_y(j)$ 、 $R_z(j)$ が求まる。

20

【0155】

移動回数 j が全移動回数 n になるまで同様な計算繰り返して取得したデータより、オフセット長に対して、 R_x 、 R_y 、 R_z がどのように推移するかがわかるので、 R_x 、 R_y 、 R_z のオフセット長特性を求めることができる (S1309)。

【0156】

${}^{Tr}T_{{}^{To}}$ の回転成分 R_x 、 R_y 、 R_z は、 R_x 、 R_y 、 R_z のオフセット長特性にオフセット長 = 0 を代入すれば求まる (S1310)。

【0157】

${}^{Tr}T_{{}^{To}}$ の回転成分 R_x 、 R_y 、 R_z を式 (6) に代入することにより、オンラインオフセットを高精度に補正できる (S1311)。

30

【0158】

(実施の形態 3 の効果)

実施の形態 3 は、目標撮影点からオフラインオフセットのベクトルの反対方向へ、オフラインオフセットよりも小さく移動させた補助撮影点へロボットハンド 102 を位置決めて、マーカ 105 を撮影する補助撮影を実行する。そして、補助撮影におけるマーカ 105 の撮影結果に基づいてオンラインオフセットを非線形に修正する。このため、オフラインオフセットとオンラインオフセットのずれが非線形に発生した場合でもオンライン教示点の誤差を取り除くことができる。

40

【0159】

<その他の実施の形態>

実施の形態 1 では、ロボットハンド 102 をオフライン補正用教示点へ位置決めてステレオカメラ 103 によりマーカ 105 を撮影した。そして、撮影後、撮影画像の処理結果に基づいてロボットアーム 101 を移動させてロボットハンド 102 をオンライン補正用教示点へ移動させた。

【0160】

しかし、撮影後、撮影画像の処理結果に基づいてロボットアーム 101 を移動させることなく、撮影画像の処理結果に基づいて単にオンライン教示点の座標値及び傾きを求めてもよい。ロボットコントローラ 109 は、指標 131、132、133 の撮影結果に基づいて、オフライン教示点とオンライン教示点との位置ずれ量を推定してもよい。

50

【0161】

あるいは、撮影後、撮影画像の処理結果に基づいてロボットアーム101を移動させることなく、撮影画像の処理結果に基づいて単にオンライン補正用教示点の座標値及び傾きを求めてもよい。マーカ105を撮影画像上で目標教示点へ移動可能なロボットハンド102の移動ベクトルを求めてもよい。ロボットコントローラ109は、指標131、132、133の撮影結果に基づいて、オフライン補正用教示点とオンライン補正用教示点との位置ずれ量を推定してもよい。

【0162】

実施の形態1では、三次元視覚センサとしてパッシブ式のステレオカメラ103を用いたが、アクティブ式の光レーザ法、アクティブステレオ法、照度差ステレオ法の作動原理に基づく三次元視覚センサに置き換えてもよい。マーカ105の撮影手段とマーカ105までの距離の計測手段とを別々に備えた三次元視覚センサに置き換えてもよい。

10

【0163】

実施の形態1では、ロボットハンド102にステレオカメラ103を把持させて着脱可能に構成した。しかし、ステレオカメラ103をロボットハンド102付近に固定して常設してもよい。作業中にワークや作業台104の指標を撮影するカメラと兼用してもよい。

【0164】

実施の形態1では、マーカ105は、直方体の板材料に3つの円形の指標を形成したものである。しかし、マーカ105及び指標は、ステレオカメラ103で三次元の位置及び傾きを正確に測定可能なものであれば、別の形状、形式、サイズ、材料等を任意に選択することができる。マーカ105の指標131、132、133は、ステレオカメラ103で計測できる形状であれば白円には限らない。マーカ105の指標は、レーザマーキングやシール等で形成してもよい。ロボットシステム100の実作業で用いるワークが元来備えている開口部やエッジ等の特徴点を指標として設定してもよい。

20

【0165】

実施の形態1では、マーカ105は、作業台104上に位置決められていた。しかし、マーカ105は、作業台104上に固定した載置台に設置してもよい。指標は、マーカ105ではなく、実際のワーク上に形成してもよい。

【0166】

30

実施の形態1では、オンライン教示作業時だけ、作業台104上にマーカ105を設置する構成とした。しかし、実作業で常時用いる治具や、作業台104そのものに指標を形成してもよい。

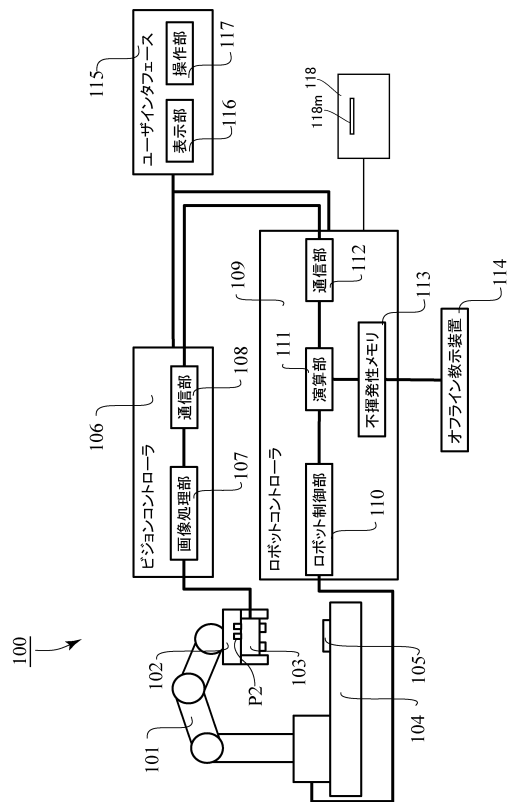
【符号の説明】

【0167】

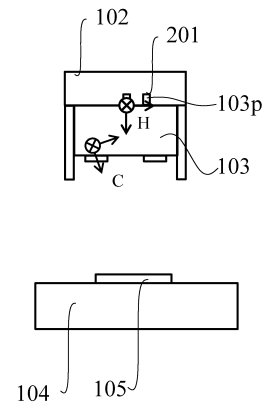
100 ロボットシステム、101 ロボットアーム、102 ロボットハンド
103 ステレオカメラ、104 作業台、105 マーカ
106 ビジョンコントローラ、107 画像処理部、109 ロボットコントローラ
110 ロボット制御部、111 演算部、113 不揮発性メモリ
114 オフライン教示装置、115 ユーザインタフェース、118 カードリーダー
118m メモリカード、131、132、133 指標

40

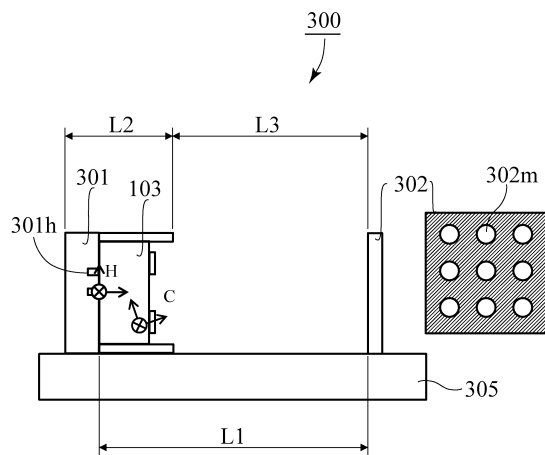
【図 1】



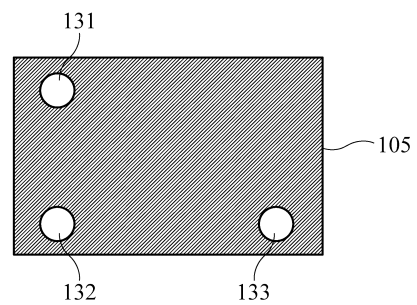
【図 2】



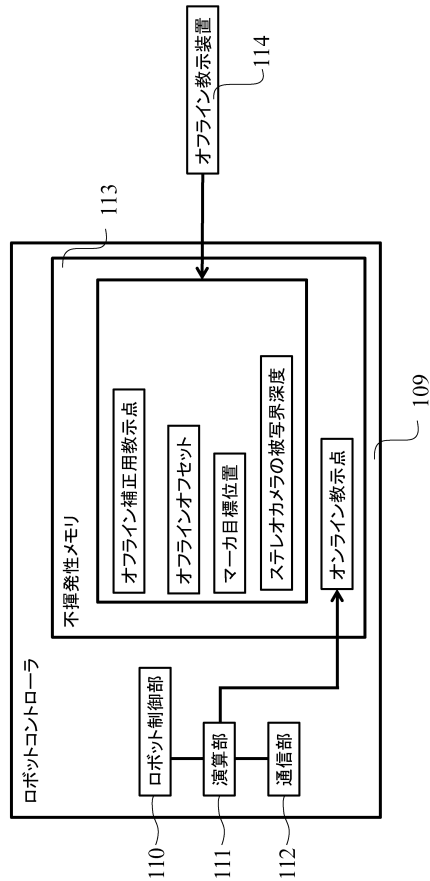
【図 3】



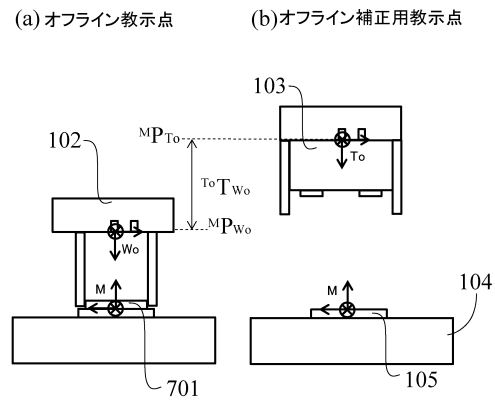
【図 4】



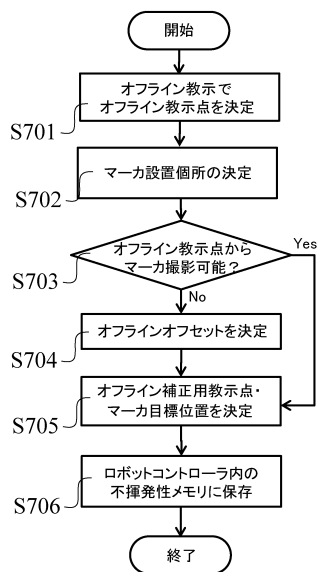
【図 5】



【図 6】

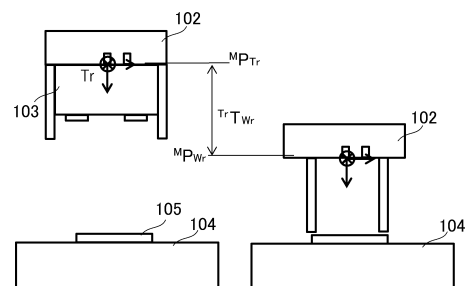


【図 7】

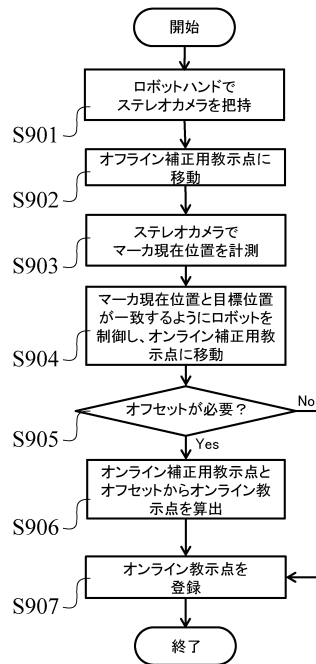


【図 8】

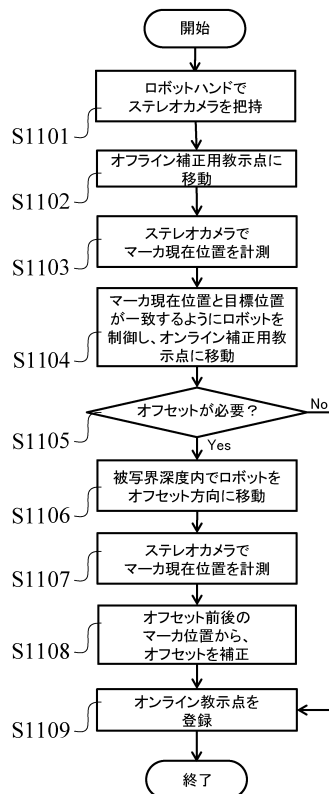
(a) オンライン補正用教示点 (b) オンライン教示点



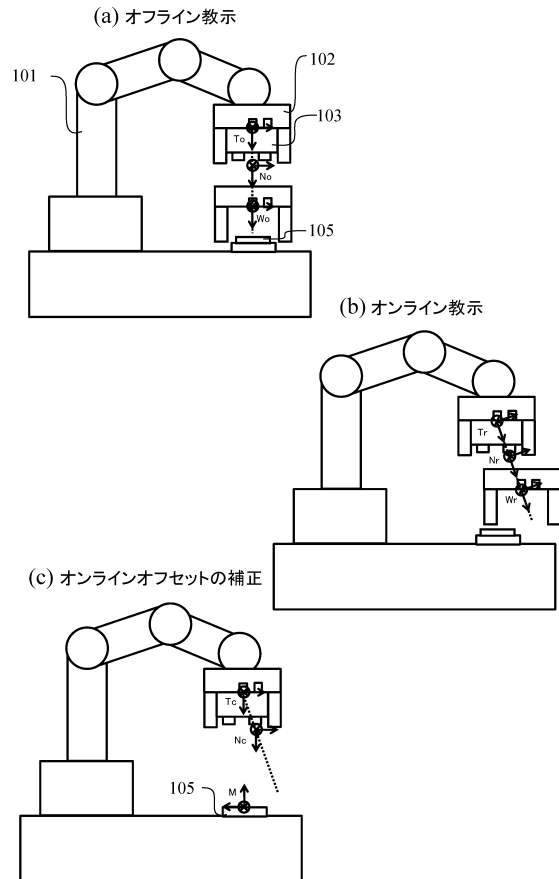
【図 9】



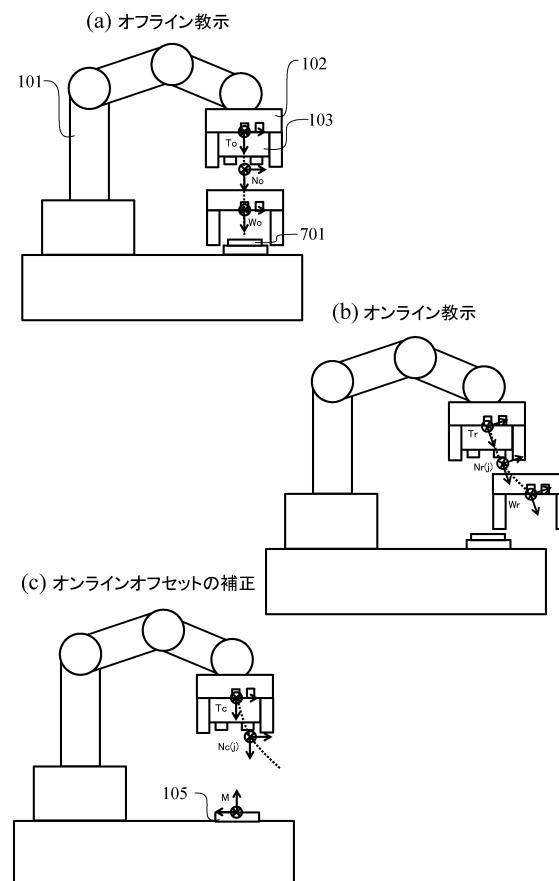
【図 11】



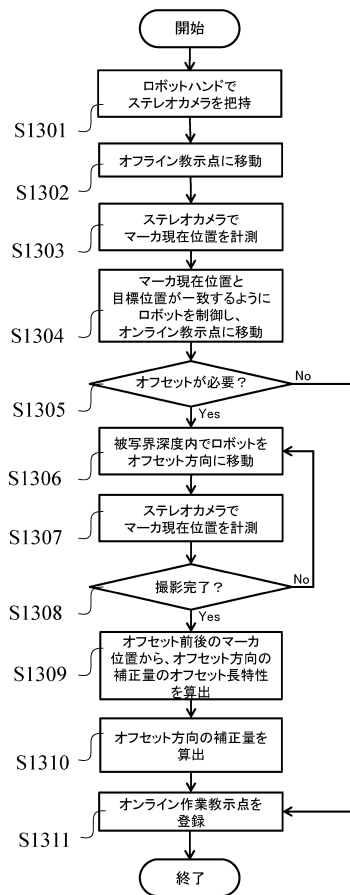
【図 10】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

- (56)参考文献 独国特許出願公開第19930087 (DE, A1)
米国特許第05400638 (US, A)
特表2014-520351 (JP, A)
米国特許出願公開第2015/0142171 (US, A1)
特開平09-070786 (JP, A)
特開平04-100573 (JP, A)
特開2002-307348 (JP, A)
特開平07-084631 (JP, A)
特開2015-062991 (JP, A)
特開平02-287164 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B25J 1/00-21/02
G05B 19/18-19/416
G05B 19/42-19/46