

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3946711号

(P3946711)

(45) 発行日 平成19年7月18日(2007.7.18)

(24) 登録日 平成19年4月20日(2007.4.20)

(51) Int. Cl.			F I		
B25J	13/08	(2006.01)	B25J	13/08	A
B25J	9/10	(2006.01)	B25J	9/10	A
G05B	19/18	(2006.01)	G05B	19/18	C
G05B	19/19	(2006.01)	G05B	19/19	H

請求項の数 12 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2004-165075 (P2004-165075)	(73) 特許権者	390008235
(22) 出願日	平成16年6月2日(2004.6.2)		ファナック株式会社
(65) 公開番号	特開2005-342832 (P2005-342832A)		山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358
(43) 公開日	平成17年12月15日(2005.12.15)		〇番地
審査請求日	平成17年7月15日(2005.7.15)	(74) 代理人	100082304
			弁理士 竹本 松司
		(74) 代理人	100088351
			弁理士 杉山 秀雄
		(74) 代理人	100093425
			弁理士 湯田 浩一
		(74) 代理人	100102495
			弁理士 魚住 高博
		(72) 発明者	伴 一訓
			山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358
			〇番地 ファナック株式会社 内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボットシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1のロボット座標系が設定された第1のロボットと第2のロボット座標系が設定された第2のロボットを含むロボットシステムであって、

前記第1のロボット又は該第1のロボットに取り付けられた物体上に搭載された、受光デバイスを含む計測装置と、

前記第1のロボットを、少なくとも3つの互いに異なる第1ロボット初期位置に位置決めする第1ロボット位置決め手段と、

前記第2のロボットを、前記第1ロボット初期位置の夫々に対応し、互いに異なる第2ロボット初期位置に位置決めする第2ロボット位置決め手段と、

前記第2のロボット又は該第2のロボットに取り付けられた物体上にあり、前記受光デバイスの受光面上に結像され得る特徴部を前記受光デバイスで捕らえ、前記受光デバイスの受光面上に結像した特徴部を検出する特徴部検出手段と、

該特徴部検出手段による前記特徴部の検出結果に基づいて、前記受光面上における前記特徴部の位置と大きさを予め定めた目標値に一致させるような前記第2のロボットの並進移動量を計算する第2ロボット並進移動量計算手段と、

該第2ロボット並進移動量計算手段によって求められた前記第2のロボットの並進移動量に応じて前記第2のロボットを並進移動させる第2ロボット移動手段と、

該並進移動後の前記第2のロボットの位置情報を取得し記憶する位置情報記憶手段と、

前記第1のロボットが前記第1ロボット位置決め手段によって前記第1ロボット初期位

置の夫々に位置決めされた状態において、前記第2のロボットを該第1ロボット初期位置の夫々に対応する前記第2ロボット初期位置から、前記第2ロボット並進移動量計算手段による前記並進移動量の計算結果に従った前記第2ロボット移動手段により並進移動させ、該並進移動が完了する毎に前記位置情報記憶手段によって記憶される前記第2のロボットの位置情報と、前記第1ロボット初期位置の情報とに基づいて、前記第1のロボット座標系と前記第2のロボット座標系の相対位置を算出する相対位置算出手段とを備えたことを特徴とする、ロボットシステム。

【請求項2】

前記第2のロボットの前記並進移動後、前記第2のロボットの位置を取得し記憶する前に、前記受光デバイスの受光面上に結像した特徴部の前記受光面上の位置と大きさが前記目標値に所定の誤差内で一致したことを判定する一致判定手段を備えたことを特徴とする、請求項1に記載のロボットシステム。

10

【請求項3】

前記一致判定手段により、前記所定の誤差内で一致したと判定できなかった場合、前記第2ロボット位置決め手段により前記第2のロボットを再度第2ロボット初期位置に位置決めする手段を備えたことを特徴とする、請求項2に記載のロボットシステム。

【請求項4】

第1のロボット座標系が設定された第1のロボットと第2のロボット座標系が設定された第2のロボットを含むロボットシステムであって、

前記第1のロボット又は該第1のロボットに取り付けられた物体上に搭載された、受光デバイスを含む計測装置と、

20

前記第2のロボットを、少なくとも3つの互いに異なる第2ロボット初期位置に位置決めする第2ロボット位置決め手段と、

前記第1のロボットを前記第2ロボット初期位置の夫々に対応し、互いに異なる第1ロボット初期位置に位置決めする第1ロボット位置決め手段と、

前記第2のロボット又は該第2のロボットに取り付けられた物体上にあり、前記受光デバイスの受光面上に結像され得る特徴部を前記受光デバイスで捕らえ、前記受光デバイスの受光面上に結像した特徴部を検出する特徴部検出手段と、

該特徴部検出手段による前記特徴部の検出結果に基づいて、前記受光面上における前記特徴部の位置と大きさを予め定めた目標値に一致させるような前記第1のロボットの並進移動量を計算する第1ロボット並進移動量計算手段と、

30

該第1ロボット並進移動量計算手段によって求められた前記第1のロボットの並進移動量に応じて前記第1のロボットを並進移動させる第1ロボット移動手段と、

該並進移動後の前記第1のロボットの位置情報を取得し記憶する位置情報記憶手段と、

前記第2のロボットが前記第2ロボット位置決め手段によって前記第2ロボット初期位置の夫々に位置決めされた状態において、前記第1のロボットを該第2ロボット初期位置の夫々に対応する前記第1ロボット初期位置から、前記第1ロボット並進移動量計算手段による前記並進移動量の計算結果に従った前記第1ロボット移動手段により並進移動させ、該並進移動が完了する毎に前記位置情報記憶手段によって記憶される前記第1のロボットの位置情報と、前記第2ロボット初期位置の情報とに基づいて、前記第1のロボット座標系と前記第2のロボット座標系の相対位置を算出する相対位置算出手段とを備えたことを特徴とする、ロボットシステム。

40

【請求項5】

前記第1のロボットの前記並進移動後、前記第1のロボットの位置を取得し記憶する前に、前記受光デバイスの受光面上に結像した特徴部の前記受光面上での位置と大きさが前記目標値に所定の誤差内で一致したことを判定する一致判定手段を備えたことを特徴とする、請求項4に記載のロボットシステム。

【請求項6】

前記一致判定手段により、前記所定の誤差内で一致したと判定できなかった場合、前記第1ロボット位置決め手段により前記第1のロボットを再度第1ロボット初期位置に位置

50

決めする手段を備えたことを特徴とする、請求項 5 に記載のロボットシステム。

【請求項 7】

前記第 1 のロボットは第 1 のロボット制御装置に接続される一方、前記第 2 のロボットは、前記第 1 のロボット制御装置とは別の第 2 のロボット制御装置に接続されており、

前記第 1 のロボット制御装置と前記第 2 のロボット制御装置とは通信手段で接続されていることを特徴とする、請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載のロボットシステム。

【請求項 8】

前記第 1 のロボットと前記第 2 のロボットは、同一のロボット制御装置に接続されていることを特徴とする、請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載のロボットシステム。 10

【請求項 9】

前記計測装置の搭載は、前記第 1 のロボットと前記第 2 のロボットの相対位置を算出する時に一時的に行われることを特徴とする、請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか 1 項に記載されたロボットシステム。

【請求項 10】

前記特徴部は、前記第 1 のロボットと前記第 2 のロボットの相対位置を算出する時に一時的に設けられることを特徴とする、請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか 1 項に記載されたロボットシステム。

【請求項 11】

前記受光デバイスが、2次元画像を撮像するカメラであることを特徴とする、請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか 1 項に記載されたロボットシステム。 20

【請求項 12】

前記受光デバイスが、位置検出型検出器であることを特徴とする、請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか 1 項に記載されたロボットシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数のロボットを含むロボットシステムに関し、更に詳しく言えば、同ロボットシステムに含まれるロボット間の相対位置に関するキャリブレーションを簡単且つ高精度で行えるようにする技術に関する。本発明に係るロボットシステムは、例えばワークの搬送やワークに対する加工を複数のロボットの協調動作によって行なうようなアプリケーションにおいて有用である。 30

【背景技術】

【0002】

産業用ロボットを用いたシステムの 1 つの類型として、2 台のロボット間の協調動作によって必要な作業（搬送、加工等）を行うシステムがある。このようなシステムにおいては、従動するロボットが先導するロボットの位置に基づいて移動目標となる位置を計算する必要がある。この計算を正確に行なうためには、各ロボットに設定されているロボット座標系の相対位置関係が予め分かっている必要がある。

【0003】

このような趣旨で 2 台のロボット間の座標系の相対位置関係を予め求めておくことは、ロボット間で座標系結合を行なうための一種のキャリブレーションである。このロボット間の座標系結合のためのキャリブレーションとして一般に知られている代表的な手法に従えば、先ず各々のロボットのアーム先端部に位置合せ用の治具が装着される。そして、両ロボットが到達可能な範囲内に用意された 3 箇所以上の 3 次元空間上の位置に順次各ロボットを移動させ、その際に各ロボットで得られる現在位置のデータに基づいて、両ロボットに設定されているロボット座標系の相対的位置関係を表わすデータを求めることができる。 40

【0004】

3 箇所以上の 3 次元空間上の位置にロボットを移動させる方法としては、直接ロボット 50

同士（各ロボットの先端部に装着された治具の先端同士）を接触させる方法もあれば、互いのロボットから離れた箇所に、固定されたキャリブレーション用治具を用意し、各ロボット（先端部に装着された治具の先端）で、その治具をタッチアップすることで間接的に接触させる方法もある。

【0005】

但し、一般的なロボットについて、上記手法の詳細について公表している文献は見当たらない。なお、ロボットとポジションとのキャリブレーションについては、下記特許文献1に記述がある。それによれば、ロボットとポジションを直接接触させる方法での提案がなされている。

【0006】

【特許文献1】特開平8-129408号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上記した従来のロボット間のキャリブレーション手法には、いくつかの問題点がある。中でも従来手法が治具を必要としている点は、コスト面や作業者への負担の面で問題が大きい。即ち、直接的な接触、間接的な接触のいずれによっても、各々のロボット先端部に位置合せ用の治具を準備する必要があり、先ず治具に関連するコストが生じる。また、間接的な接触では、固定用の治具を用意しなければならない上に、後々のメンテナンスを考慮すると、その治具は教示時だけではなく、ロボットシステムの稼働時にも常に固定しておく必要があり、多くのロボットシステムでの兼用は困難である。更に、キャリブレーションの精度を得るためには、大きなサイズの治具を用意しなければならない。

【0008】

また、直接接触させる方法では、2台のロボット間の距離が離れている場合は、治具の先端がたわまないよう、ロボット先端部の治具の剛性に配慮する必要がある。加えて、教示の問題もある。直接的な接触、間接的な接触のいずれによる手法においても、治具を装着した両ロボットの座標系同士の相対位置を算出するには、3次元空間上の3箇所以上で、2台のロボットを同一の位置に合せ、各々のロボットの位置を記憶させる必要があるが、精度を高めるためには、できるだけ広い範囲に3箇所の教示位置を設け、各箇所に位置合せ治具が正確に一致するようにしてロボットに教示を行なう必要がある。この教示には正確性が要求される上、接触による方法のため、ちょっとした誤操作（ジョグ送りのミス）で治具を他物体にぶつけてしまい破損事故を招く危険性がある。

【0009】

このように従来の治具を用いた方法は、いずれも、使用者に大きな負担を強いるもので、改善が強く求められていた。本発明は各ロボットに設定されているロボット座標系間の相対位置を求めるキャリブレーションにおけるこれら問題を解消し、使用者の負担が小さく、且つ、高精度なキャリブレーションを実現できるようにすることを企図するものである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、キャリブレーション対象とされる2台のロボットの一方に、受光デバイスを含む計測装置を搭載する一方、他方のロボットには特徴部を用意した物体を搭載し、計測装置による特徴部の計測（位置と大きさの計測）と、2台のロボットの相対移動とを組み合わせ、キャリブレーションに必要なデータを取得する手法を導入して、上記問題点を解決したものである。

【0011】

より具体的に言えば本発明は、第1のロボット座標系が設定された第1のロボットと第2のロボット座標系が設定された第2のロボットを含むロボットシステムに適用され、請求項1の発明は、前記第1のロボット又は該第1のロボットに取り付けられた物体上に搭載された、受光デバイスを含む計測装置と、前記第1のロボットを、少なくとも3つの互

10

20

30

40

50

いに異なる第1ロボット初期位置に位置決めする第1ロボット位置決め手段と、前記第2のロボットを、前記第1ロボット初期位置の夫々に対応し、互いに異なる第2ロボット初期位置に位置決めする第2ロボット位置決め手段と、前記第2のロボット又は該第2のロボットに取り付けられた物体上にあり、前記受光デバイスの受光面上に結像され得る特徴部を前記受光デバイスで捕らえ、前記受光デバイスの受光面上に結像した特徴部を検出する特徴部検出手段と、該特徴部検出手段による前記特徴部の検出結果に基づいて、前記受光面上における前記特徴部の位置と大きさを予め定めた目標値に一致させるような前記第2のロボットの並進移動量を計算する第2ロボット並進移動量計算手段と、該第2ロボット並進移動量計算手段によって求められた前記第2のロボットの並進移動量に応じて前記第2のロボットを並進移動させる第2ロボット移動手段と、該並進移動後の前記第2のロボットの位置情報を取得し記憶する位置情報記憶手段と、前記第1のロボットが前記第1ロボット位置決め手段によって前記第1ロボット初期位置の夫々に位置決めされた状態において、前記第2のロボットを該第1ロボット初期位置の夫々に対応する前記第2ロボット初期位置から、前記第2ロボット並進移動量計算手段による前記並進移動量の計算結果に従った前記第2ロボット移動手段により並進移動させ、該並進移動が完了する毎に前記位置情報記憶手段によって記憶される前記第2のロボットの位置情報と、前記第1ロボット初期位置の情報とに基づいて、前記第1のロボット座標系と前記第2のロボット座標系の相対位置を算出する相対位置算出手段とを備えたことを特徴としている。

10

【0012】

ここで、上記ロボットシステムに、更に、前記第2のロボットの**前記並進移動後**、前記第2のロボットの位置を取得し記憶する前に、前記受光デバイスの受光面上に結像した特徴部の**前記受光面上の位置と大きさが前記目標値に所定の誤差内で一致したことを判定する一致判定手段を具備させることができる**（請求項2の発明）。

20

【0013】

また、前記一致判定手段により、前記所定の誤差内で一致したと判定できなかつた場合、**前記第2ロボット位置決め手段により前記第2のロボットを再度第2ロボット初期位置に位置決めする手段を具備させることもできる**（請求項3の発明）。

【0014】

次に、請求項4の発明に係るロボットシステムは、第1のロボット座標系が設定された第1のロボットと第2のロボット座標系が設定された第2のロボットを含み、前記第1のロボット又は該第1のロボットに取り付けられた物体上に搭載された、受光デバイスを含む計測装置と、**前記第2のロボットを、少なくとも3つの互いに異なる第2ロボット初期位置に位置決めする第2ロボット位置決め手段と、前記第1のロボットを前記第2ロボット初期位置の夫々に対応し、互いに異なる第1ロボット初期位置に位置決めする第1ロボット位置決め手段と、前記第2のロボット又は該第2のロボットに取り付けられた物体上にあり、前記受光デバイスの受光面上に結像され得る特徴部を前記受光デバイスで捕らえ、前記受光デバイスの受光面上に結像した特徴部を検出する特徴部検出手段と、該特徴部検出手段による前記特徴部の検出結果に基づいて、前記受光面上における前記特徴部の位置と大きさを予め定めた目標値に一致させるような前記第1のロボットの並進移動量を計算する第1ロボット並進移動量計算手段と、該第1ロボット並進移動量計算手段によって求められた前記第1のロボットの並進移動量に応じて前記第1のロボットを並進移動させる第1ロボット移動手段と、該並進移動後の前記第1のロボットの位置情報を取得し記憶する位置情報記憶手段と、前記第2のロボットが前記第2ロボット位置決め手段によって前記第2ロボット初期位置の夫々に位置決めされた状態において、前記第1のロボットを該第2ロボット初期位置の夫々に対応する前記第1ロボット初期位置から、前記第1ロボット並進移動量計算手段による前記並進移動量の計算結果に従った前記第1ロボット移動手段により並進移動させ、該並進移動が完了する毎に前記位置情報記憶手段によって記憶される前記第1のロボットの位置情報と、前記第2ロボット初期位置の情報とに基づいて、前記第1のロボット座標系と前記第2のロボット座標系の相対位置を算出する相対位置算出手段とを備えたことを特徴としている。**

30

40

50

【 0 0 1 5 】

ここで、ロボットシステムに、更に、前記第1のロボットの**前記並進移動後**、前記第1のロボットの位置を取得し記憶する前に、前記受光デバイスの受光面上に結像した特徴部の前記受光面上での位置と大きさが前記目標値に所定の誤差内で一致したことを判定する一致判定手段を具備させることができる（請求項5の発明）。また、前記一致判定手段により、前記所定の誤差内で一致したと判定できなかった場合、前記第1ロボット位置決め手段により前記第1のロボットを再度第1ロボット初期位置に位置決めする手段を具備させることもできる（請求項6の発明）。

【 0 0 1 6 】

そして、以上いずれの発明に係るロボットシステムにおいても、前記第1のロボットと前記第2のロボットを別々のロボット制御装置に接続し、両ロボット制御装置間を通信手段で接続することができる（請求項7の発明）。あるいは、前記第1のロボットと前記第2のロボットを同一のロボット制御装置に接続しても良い（請求項8の発明）。また、前記計測装置の搭載は、前記第1のロボットと前記第2のロボットの相対位置を算出する時に一時的に行われるようにしても良い（請求項9の発明）。更に、前記特徴部については、前記第1のロボットと前記第2のロボットの相対位置を算出する時に一時的に設けられても良い（請求項10の発明）。なお、上記計測装置に装備される受光デバイスは、典型的には2次元画像を撮像するカメラ（請求項11の発明）であるが、PSD（Positon Sensing Detector；位置検出型検出器）とすることもできる（請求項12の発明）。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 7 】

本発明によれば、ロボット間の相対位置を求めるキャリブレーション作業が、非接触で、精度を確保し、且つ、簡単に行えるようになる。その結果、複数のロボットを同時に使用するロボットシステムにおいて、ユーザが負担してきた教示コスト及び治具の使用に関連するコストが軽減される。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 8 】

以下、図面を順次参照して本発明の実施形態について説明する。先ず図1は、本発明の一実施形態の全体構成の概略を示した図である。同図において、キャリブレーション対象とされるロボットは、ロボットR1とロボットR2で、それぞれロボット制御装置5、6に接続されている。

【 0 0 1 9 】

一方のロボット（ここでは第1のロボット）R1のアーム先端部にはカメラ4が取り付けられている。カメラ4は、例えばCCDカメラであり、撮像により2次元画像を受光面（CCDアレイ面上）で検出する機能を持つ周知の受光デバイスである。なお、後述するように、受光デバイスとしてPSD（Positon Sensing Detector；位置検出型検出器）を用いることもできる。カメラ4は、LCD、CRT等からなるモニタ3を持つ画像処理装置2に接続されている。

【 0 0 2 0 】

他方のロボット（ここでは第2のロボット）R2のアーム先端部には特徴部30が用意されている。この特徴部30は、ロボットR2に元々備わっている特徴部（例えばボルトの頭部、ボルト穴、機体に印刷されているマーク等）であっても良いし、キャリブレーションのためのマーク等を描いた物体を取付けても良い。また、キャリブレーションのために特徴部30をアーム先端部に新たに描いても良い。符号31は特徴部30の位置を代表する点（特徴部代表点）である。後述するように、本実施形態では、特徴部30は円形輪郭を持つマークとし、特徴部代表点31はその円形輪郭の中心点とする。

【 0 0 2 1 】

なお、この物体は後述するキャリブレーションの作業実行中に固定されていれば十分であり、キャリブレーションの開始前や終了後は取り外して全く差し支えない。この点は、ロボットR1に取付けられるカメラ4についても同様で、キャリブレーションの作業実行

10

20

30

40

50

中に固定されていれば良く、キャリブレーションの開始前や終了後は取り外し自由である。もちろん、キャリブレーション終了後もカメラ4を装着したままとし、本来の作業（ハンドリング等）のために、視覚センサのヘッド部として使用されても良い。また、キャリブレーションのために特徴部30を描いた場合には、これをキャリブレーション終了後に消しても構わない。

【0022】

ロボットR1には、ロボットベースに固定されたロボット座標系 b と、ツール取付面に固定されたメカニカルインターフェイス座標系 f （図1では図示省略；図5を参照）が設定されており、ロボット制御装置5内では、キャリブレーションを実行する以前から、随時、このメカニカルインターフェイス座標系の原点の位置・姿勢（現在位置）を知ることができるようになっている。

10

【0023】

同様に、ロボットR2には、ロボットベースに固定されたロボット座標系 b' と、ツール取付面に固定されたメカニカルインターフェイス座標系 f' （図1では図示省略；図5を参照）が設定されており、ロボット制御装置6内では、キャリブレーションを実行する以前から、随時、メカニカルインターフェイス座標系の原点の位置・姿勢（現在位置）を知ることができるようになっている。

【0024】

ロボット制御装置5は図2に示したような周知のブロック構成を有している。即ち、メインCPU（以下、単にCPUと言う。）11に接続されたバス17に、RAM、ROM、不揮発性メモリ等からなるメモリ12、教示操作盤用インターフェイス13、通信インターフェイス14、サーボ制御器15、外部装置用の入出力インターフェイス16が並列に接続されている。

20

【0025】

サーボ制御部15のサーボ制御器#1～#n（nはロボットR1の軸数で、ここではn=6とする。）は、ロボットR1の制御のための演算処理（軌道計画作成とそれに基づく補間、逆変換など）を経て作成された移動指令を受け、各軸に付属したパルスコード（図示省略）から受け取るフィードバック信号と併せて各サーボアンプにトルク指令を出力する。

【0026】

各サーボアンプA1～Anは、各トルク指令に基づいて各軸のサーボモータに電流を供給してそれらを駆動する。通信インターフェイス14は、画像処理装置2及び第2のロボットR2のロボット制御装置6（図1参照）の通信インターフェイス（図示省略）に通信回線を介してそれぞれ接続されており、これら通信回線を介して、後述する計測に関連する指令、計測結果データ等の授受、各ロボットR1、R2の現在位置データ等が画像処理装置2及びロボット制御装置6との間で行なわれるようになっている。

30

【0027】

ロボット制御装置6の構成と機能は、ロボット制御装置5と同様なので詳細説明は省く。但し、教示操作盤用インターフェイスと教示操作盤はロボット制御装置6では省略されている。即ち、教示操作盤用インターフェイス13に接続される教示操作盤18は、ロボットR1、R2兼用のもので、オペレータは、この教示操作盤18のマニュアル操作を通して、各ロボットR1、R2の動作プログラム（協調動作の動作プログラムを必要に応じて含む）の作成、修正、登録、あるいは各種パラメータの設定の他、教示された動作プログラムの再生運転、ジョグ送り等を実行する。ロボットR1、R2及びロボット制御装置5、6の基本機能を支えるシステムプログラムは、メモリ12のROMに格納される。

40

【0028】

また、アプリケーションに応じて教示されるロボットの動作プログラム（例えばワークハンドリングのプログラム）並びに関連設定データは、ロボット制御装置5のメモリ12の不揮発性メモリ及びロボット制御装置6の同様のメモリ（図示省略）に適宜振り分けて格納されている。

50

【0029】

また、後述する諸処理（キャリブレーションに関連したロボット移動及びそのための画像処理装置との通信のための処理）のためのプログラム、パラメータ等のデータもメモリ12の不揮発性メモリに格納される。メモリ12のRAMは、メインCPU11が行なう各種演算処理におけるデータの一時記憶の記憶領域に使用される。ロボット制御装置6内のメモリのRAMもロボット制御装置6のメインCPU（図示省略）が行なう各種演算処理におけるデータの一時記憶の記憶領域に使用される。

【0030】

画像処理装置2は、図3に示した周知のブロック構成を有している。即ち、画像処理装置2はマイクロプロセッサからなるCPU20を有しており、CPU20には、バスライン50を介してROM21、画像処理プロセッサ22、カメラインターフェイス23、モニタインターフェイス24、入出力機器（I/O）25、フレームメモリ（画像メモリ）26、不揮発性メモリ27、RAM28及び通信インターフェイス29が各々接続されている。

10

【0031】

カメラインターフェイス23には、撮像手段であるカメラ（ここではカメラ4；図21参照）が接続されており、カメラインターフェイス23を介して撮影指令が送られると、カメラ4に設定された電子シャッター機能により撮影が実行され、カメラインターフェイス23を介して映像信号がグレイスケール信号の形でフレームメモリ26に格納される。モニタインターフェイス24にはモニタ（ここではモニタ3；図1参照）が接続されており、カメラが撮影中の画像、フレームメモリ26に格納された過去の画像、画像処理プロセッサ22による処理を受けた画像等が必要に応じて表示される。

20

【0032】

以下、上記した構成と機能を前提に、本発明の技術思想を適用して、第1のロボットR1に設定されているロボット座標系 b とロボットR2に設定されているロボット座標系 b' の相対的な位置姿勢関係を求める手順について説明する。なお、受光デバイスは、画像処理装置2に接続されたカメラ（CCDカメラ）として説明するが、上記の通り、適宜、他の受光デバイスとそれに適合した信号処理装置に置き換えても良いことは言うまでもない。

【0033】

まず、必要な準備を図4のフローチャートに示した手順で実行する。各ステップの要点は下記の通りである。

30

ステップF1；

ロボットR1、R2の一方あるいは両方を移動させ、「目標値設定用基準状態」とする。ここで、目標値設定用基準状態は、カメラ4の視野で特徴部30を適当な大きさに捕らえ得る状態であれば、一般に、ロボットR1、R2の位置は任意に定めて差し支えなく、例えば、教示操作盤18を使ってロボットR1、R2の一方あるいは両方をジョグ移動させ、カメラ4が特徴部30と適当な距離を隔ててほぼ正対する状態（図1参照）で位置決めし、それを「目標値設定用基準状態」とする。

【0034】

図5は、目標値設定用基準状態における特徴部30の位置とカメラの搭載位置との関係を示している。図中40は、カメラ4のレンズ中心と特徴部代表点31を結ぶ直線（視線）を表わしている。また、 V_f は、ロボットR1のツール取付面に固定されたメカニカルインターフェイス座標系 f から特徴部代表点31を見た位置（行列）を表わし、 $S_{f'}$ は、ロボットR2のツール取付面に固定されたメカニカルインターフェイス座標系 f' から特徴部代表点31を見た位置（行列）を表わしている。

40

【0035】

ステップF2；

目標値設定用基準状態で、カメラ4による撮像を実行し、特徴部30の画面上での位置を含む2次元特徴量を検出する。本実施形態では、特徴部30の受光面面上での位置（特

50

徴部代表点 3 1 の受光面面上での位置) と大きさを検出し、「目標値」として記憶(設定)する。目標値設定用基準状態における特徴部 3 0 の画像の例を図 6 に示した。ここでは、円形の特徴部 3 0 とカメラ 4 がほぼ正対する状態を目標値設定用基準状態に定めているので、画面のほぼ中央に円形の像 3 0 c が映ることになる。3 1 c はその中心点である。なお、一般には円形の特徴部 3 0 をカメラ 4 が斜めから見る可能性を考慮して、「特徴部 3 0 の受光面上での大きさ」は、「特徴部 3 0 の受光面上での最大径(楕円の長軸に沿った径)」で代表させるものとする。

【0036】

ステップ F 3 ;

第 2 のロボット R 2 に取り付けられた特徴部 3 0 について、カメラ 4 及び画像処理装置 2 を用いて、ロボット R 2 のツール取付面に固定されたメカニカルインターフェイス座標系 f' から見た位置、即ち、特徴部代表点 3 1 を見た位置(行列) $S f'$ を計測する。この計測には、特願 2 0 0 4 - 1 1 3 4 5 1 号の明細書/図面に記載した手法が利用できる。その要点については後述する。

10

ステップ F 4 ;

第 2 のロボット R 2 に取り付けられた特徴部 3 0 について、カメラ 4 及び画像処理装置 2 を用いて、ロボット R 1 のロボット座標系 b から見た位置、即ち、特徴部代表点 3 1 を見た位置(行列)を計測し、結果を記憶する。この計測には、特願 2 0 0 4 - 特願 2 0 0 4 - 9 8 4 8 号の明細書/図面に記載した手法が利用できる。その要点については後述する。

20

【0037】

ステップ F 5 ;

ステップ F 4 の結果と、同結果を得た時のロボット R 1 の現在位置(b 上での f の位置)に基づいて、ロボット R 1 のツール取付面に固定されたメカニカルインターフェイス座標系 f から見た特徴部 3 0 の位置、即ち、特徴部代表点 3 1 を見た位置(行列) $V f$ を求めて記憶し、準備作業を終了する。

【0038】

以上の準備の下で、図 7 のフローチャートに示した手順で実行する。各ステップの要点は下記の通りである。

ステップ G 1 ; 第 1 のロボット R 1 と第 2 のロボット R 2 を第 1 の初期状態の各位置に移動させる。第 1 の初期状態の各位置(ロボット R 1 の第 1 の初期位置とロボット R 2 の第 1 の初期位置)は、後述する第 2、第 3 の初期位置と同様、カメラ 4 の視野で特徴部 3 0 を適当な大きさに捕らえ得る初期状態が得られるのであれば、一般には、3 次元空間内に任意に定めて差し支えない。一般には初期状態ではカメラ 4 と特徴部 3 0 は前述した目標値に対応する位置(本実施形態では受光面中央付近; 図 6 参照)からややはずれた位置になる。ここでは、カメラ 4 による撮像でモニタ 3 に図 8 中に符号 3 0 a で示したような特徴部(画像)位置が得られる状態が第 1 の初期状態であるものとする。符号 3 1 a は 3 0 a の中心位置(特徴部代表点の位置)である。初期状態への移動には、例えば教示操作盤 1 8 を用いたジョグ移動が利用できる。

30

【0039】

ステップ G 2 ; 第 1 の初期状態から、前述した目標値が得られるように第 1 のロボット R 1 を移動させる。図 8 中の符号 3 0 b は、目標値に対応する特徴部 3 0 の画像を表わしている。符号 3 1 b は 3 0 b の中心位置(特徴部代表点の位置)である。

40

【0040】

この移動方法は比較的簡単である。例えば、最初に f の X, Y, Z の各方向について、それぞれ一定量動かしてみて、それぞれ画像上でどの方向に動き、どれだけ大きさが変化したかを観察し、第 1 のロボット R 1 (f) の 3 次元空間内での移動量と、画像上での目標値変化(画像上での移動量の変化と大きさの変化)の関係を導き、ロボット R 1 を移動させれば良い。

【0041】

50

このような方法自体は周知であるから詳細説明は省略し、特徴部 30 の画像上の位置と大きさを目標値に一致させるまでのフローチャートを図 9 に示した。まず最初に撮像し、特徴部を検出する（ステップ S 1）。検出結果が位置、大きさにおいて、目標値に対して予め設定した誤差範囲内であるかチェックし（ステップ S 2）、誤差範囲内であれば処理を終了する。例えば、位置、大きさについての目標値からのずれがいずれも 0.1% 以下であれば、誤差範囲内とする。

【0042】

誤差範囲内でない場合は、現在の検出結果を元に第 1 のロボット R 1 の移動量を決定する（ステップ S 3）。なお、この移動は f の姿勢を変えない並進移動として、その移動量を決定する。次いで、その決定された並進移動を実行し（ステップ S 4）、ステップ S 1 へ戻る。以上の手順を繰り返すことで、最終的に目標値に検出結果を合わせることができる。

10

【0043】

ステップ G 3；目標値が達成されたならば、第 1 のロボット R 1 と第 2 のロボット R 2 のいずれについても現在位置を取り込み、記憶する。これらを P 1, Q 1 で表わす。

ステップ G 4；上記したステップ G 1～ステップ G 3 を、ステップ G 1 における初期状態の各位置を変えながら、N 回（N ≥ 3）繰り返す。例えば N = 3 の場合、ロボット R 1 について 3 つの初期位置、ロボット R 2 について 3 つの初期位置をそれぞれ選び、3 種類の初期状態を造れば良い。但し、ロボット R 1 についての 3 つの初期位置、およびロボット R 2 についての 3 つの初期位置は、いずれも一直線上には並ばないようにする。

20

【0044】

ステップ G 5；N 回の繰り返しによって得られたロボット R 1 の位置 P 1 … P N とロボット R 2 の位置 Q 1 … Q N に基づいて、b から b' への座標変換を表わす行列 T を求める。そのために解くべき方程式は、次のように決まる。

即ち、上記の各位置のセット P i, Q i（i = 1～N）について、下記の式が成立するので、これらを連立方程式として解くことで、T が得られることになる。

$$T * Q_i * S f' = P_i * V f$$

ここで、S f' 及び V f のデータは前述の準備作業で記憶済みのものを使用する。

【0045】

なお、このような連立方程式の解法は周知であり、ここでは詳細には触れない。また、ここでは目標値実現へ向けたロボット移動は、特徴部 30 を設けたロボット R 1 の移動としたが、カメラを移動するか計測対象を移動するかは相対的なものであることから、ロボット R 2 の移動で目標値を達成する同様の手法で T を算出することが可能であることは特に説明を要しないであろう。また、ここまでは別々の制御装置を通信回線で接続する構成で説明しているが、図 10 に符号 1 で示したように、ロボット制御装置を 1 台とし、第 1 のロボットと第 2 のロボットの双方を制御することも可能である。この場合は、当然、2 台のロボット制御装置の場合では必要であった、ロボット制御装置間の通信回線は不要となる。なお、図 10 においては、カメラ 4 及びロボット制御装置 1 に接続される画像処理装置の描示を省略した。

30

【0046】

最後に、前述した、「ロボット R 2 のメカニカルインターフェイス座標系 f' から特徴部代表点 31 を見た位置（行列）S f'」と、「ロボット R 1 のロボット座標系 b から特徴部代表点 31 を見た位置（行列）V f」の求め方の要点を説明する。まず、S f' の求め方について述べる。

40

【0047】

図 5 中には、カメラ 4 の視線 40 が記されている。これはカメラ 4 の代表点（例えば受光面の中心）から特徴部代表点 31 に向かう直線である。視線 40 に関連して、座標系 v が図 5 中に記されている。即ち、座標系 v は、カメラ 4 の代表点（例えば受光面中心）から特徴部代表点 31 に向かう視線 40 を表わす座標系であり、原点が視線 40 上にあり、1 つの座標軸（例えば Z 軸）が視線 40 に一致しているものとする。また、既述の通

50

り、 f はロボット R 1 のツール取付面に固定されたメカニカルインターフェイス座標系、 f' はロボット R 2 のツール取付面に固定されたメカニカルインターフェイス座標系である。

【 0 0 4 8 】

f' から見た特徴部代表点 3 1 の位置 $S f'$ を求める手順の概略は、図 1 1 のフローチャートに示されている。なお、このフローチャートにおいて、「ロボット」はロボット R 2 を指すものとする。

【 0 0 4 9 】

[ステップ T 1、T 2 について]

上述した構成を用いて特徴部代表点 3 1 の相対位置を求める場合、「視線 4 0 を求めること」が基本となる。一般に、視線を求めるためにはいわゆるカメラキャリブレーションの手法が知られているが、ここではそのような手法は必要としない。即ち、カメラキャリブレーションの手法に頼らずに視線 4 0 に関する情報を得るために、特徴部代表点 3 1 の受光面上での位置を受光面上の所定箇所に向かわせる（到達させる）ようにロボットを移動させる処理が基本となる。ここで、「受光面上の所定箇所」は具体的には例えば「受光面上の中心点（幾何学的な重心位置）」の如く、「所定の点」として予め定義されるので、以下、この処理を「所定点移動処理」と呼ぶことにする。

【 0 0 5 0 】

先ずステップ T 1 では、カメラ 4 が特徴部代表点 3 1 を視野に収められる適当な初期位置へロボット R 2 を移動させる（初期位置にロボットを位置決め）。次いで、下記の如く所定点移動処理（ステップ T 2）を実行する。即ち、受光デバイス（カメラ、PSD等）で捉えられた特徴部代表点 3 1 が「受光面上の所定点」に向かうような方向に、ツール 3 0 を移動させ（ロボット移動を利用）、実際に、受光面上において所定の誤差内で特徴部代表点 3 1 を所定点に一致させる処理を実行する。

【 0 0 5 1 】

「受光面上の所定点」として、ここでは「受光面（CCDアレイ）の中心点」を採用する。図 1 2 は、特徴部代表点 3 1 を受光面の中心点に移動させる様子モニター画面を用いて示した図である。同図において、モニター 3 の画面は、点 M がカメラ 4 の受光面の中心に対応するように設定されている。今、ロボット R 2 が適当な初期位置に位置決めされた状態で、特徴部 3 0、特徴部代表点 3 1 の像 3 0 d、3 1 d が図示したような位置に写っているものとする。

この場合、像 3 1 d が画面上で点 M に向かって斜め左下方向に移動する方向にロボット R 2 を移動させれば良い訳である。これは、前述した目標値実現のためのロボット移動と同様の移動であり、比較的簡単である。具体的には、例えばメカニカルインターフェイス座標系 f' の XY 平面内で任意のいくつかの方向（複数方向）にロボット R 2 を動かしてみ、その都度特徴部代表点の像 3 1 d が画像上でどの方向に移動したかを観察し、ロボット R 2 の移動方向と画像上での特徴部代表点の移動方向の関係、及びロボットの移動量と画像上での特徴部代表点の移動量の間係を定める手順を実行すれば良い。

【 0 0 5 2 】

このような手法により移動方向及び移動量比を求めること自体は周知であるから、詳細説明は省略する。また、以下の説明ではここまでの準備は済んでいるものとする。カメラ 4 によって撮像された特徴部代表点（像 3 1 d）を画像上の所定点 M に一致させる処理は前述した図 9 のフローチャートに示したものと同様であるから極く簡単に記す。

【 0 0 5 3 】

先ず、特徴部 3 0 の撮像を行ない、特徴部代表点 3 1 の画像上での位置 3 1 d を画像処理装置 2 内で求める。次いで、その位置が画像上での所定点 M に予め設定した誤差範囲内で一致しているか判断する。誤差範囲内で一致（点 M に像 3 1 e が一致）していれば、所定点移動処理を終了する。誤差範囲内でなければ、像 3 1 d を画像上で所定点 M（像 3 1 e）に移動させるロボット並進移動指令（座標系 f' の姿勢は一定）を算出する。それに基づいてロボット R 2 を移動させ、移動が完了したら一致度を再チェックする。以下、同

10

20

30

40

50

様に、「一致」の判断が出されるまで、上述したサイクルを繰り返す。

[ステップT3について]

以上が「所定点移動処理」であり、この処理が完了した時点、即ち、図12中に符号31dで示した特徴部代表点像が写っているロボットの初期位置から、上記所定点移動処理により、画像中心Mに符号31eで示した特徴部代表点像が得られるロボット位置に移動が完了したら、ロボット座標系 b' 上での座標系 f' の位置 $Qf1$ を取得し、記憶しておく。

【0054】

[ステップT4について]

次に、視線40の方向を求める処理に移る。視線40は、画像中心に特徴部代表点像が写っている状態において、画像中心に相当するカメラ撮像面上の点Mと特徴部代表点31を結ぶ直線である。ここでは、この直線がロボットのメカニカルインターフェイスを表わす座標系 f' に対して、どのような方向を向いているか求める。そのために先ずステップT4の処理によりロボットR2を並進移動させる。図13はこの処理に関連する説明図で、同図において、座標系 $v1$ は視線40の方向を求めるために考える座標系であり、次の条件を満たすものとする。

(I) 座標系 f' と座標系 $v1$ とは同一の原点を持つ。

(II) 座標系 $v1$ のZ軸方向は視線40の方向と一致する。

【0055】

この座標系 $v1$ のZ軸が、所定点移動処理完了時に座標系 f' 上でどの方向を向いているかを求める。より具体的には、座標系 f' 上での座標系 $v1$ の姿勢を表わすオイラー角(W、P、R)の内(W、P)成分を求めることを考える。

【0056】

そのために、先ず実行するのがこのステップT4の並進移動である。この移動では、ツールの姿勢を変えずに特徴部代表点31とカメラの距離が異なる位置へロボットを並進移動させる(矢印A参照)。図13中における符号30a、30bは移動前、移動後のツールを表わしている。

【0057】

[ステップT5、T6について]

ステップT4による並進移動を行なうと、当然、一般には特徴部代表点31の像は再度画像中心(受光面の中心)Mから外れる。そこで、再度、所定点移動処理を実行する(ステップT5)。所定点移動処理についてはステップT2で説明した通りで、特徴部代表点31の像は再び画像中心(受光面の中心)Mから誤差範囲内の位置に戻る。ステップT5の完了後に、ロボット座標系 b' 上での座標系 f' の位置 $Qf2$ を取得し、記憶する(ステップT6)。

【0058】

[ステップT7について]

上記ステップT3で得た $Qf1$ と上記ステップT6で得た $Qf2$ とを結ぶ直線は、視線40の方向を表わしている。ステップT4のロボット移動前の f' 上で見た $Qf1$ から $Qf2$ への相対移動量を dX 、 dY 、 dZ とすると、座標系 f' 上での座標系 $v1$ の姿勢を表わすオイラー角(W、P、R)は下記の式で計算できる。これにより、座標系 $v1$ が定められたことになり、そのZ軸方向が視線40の方向を表わしている。

【0059】

10

20

30

40

【数 1】

$$W = \tan^{-1}\left(\frac{-dY}{\sqrt{(dX)^2 + (dZ)^2}}\right)$$

$$P = \tan^{-1}\left(\frac{dX}{dZ}\right)$$

$$R = 0$$

【0060】

10

[ステップT8、T9、T10、T11について]

ステップT7で視線40の方向が求められたので、次に視線40の位置を求める処理に進む。図14(a)、(b)はこの処理に関連する説明図で、図14(b)中、座標系v2は視線40の位置と方向を表わす座標系で、図5において座標系vとして表記されたものに対応し、次の条件を満たすものとする。

(III)座標系v2は視線40上に原点を持つ。

(IV)座標系v2のZ軸方向は視線40の方向と一致する。

【0061】

既に視線40の方向が座標系v1(図14(a)参照)のZ軸として求められており、座標系v2のZ軸方向は座標系v1のZ軸方向と同一である。原点位置を求めるために、Qf1を座標系v1のZ軸周りで180度回転させた位置へロボットを移動させ(ステップT8)、次いで再び所定点移動処理を実行する(ステップT9)。図14(a)はこの回転移動(矢印B参照)と、所定点移動処理による移動が完了した状態を併記しており、図14(b)には、座標系v2の原点位置が示されている。座標系v2の原点位置は、回転移動前後の座標系f'の midpoint で与えられる。

20

そこで、回転移動完了後にロボット位置Qf3を取得し、記憶する(ステップT10)。そして、このQf1とQf3の midpoint を座標系v2の原点位置として求める。

【0062】

そして、ステップT8によるロボット移動前の座標系f'上で見たQf1からQf3への相対移動量をdX、dY、dZとして、座標系f'上で見た座標系v2の原点(X、Y、Z)を下記の式で求める。座標系v2の姿勢は座標系v1の姿勢と同一であるから、結局、ステップT8によるロボット移動前の座標系f'上で見た座標系v2の位置・姿勢が求められることになる(ステップT11)。以後これを表わす行列をVで表わすことにする。

30

【0063】

【数 2】

$$X = \frac{dX}{2}$$

$$Y = \frac{dY}{2}$$

$$Z = \frac{dZ}{2}$$

40

【0064】

[ステップT12、T13、T14、T15について]

最後に、視線40の位置・姿勢を利用して、特徴部代表点の位置を求める処理を実行する。図15はこれに関連する説明図である。Qf1を座標系v2のY軸周りに傾けた位置にロボットを傾斜移動させる(ステップT12)。そして再度所定点移動処理を実行する(ステップT13)。図15は、この処理完了後の状態がツール30bとともに示されている(座標系v2は座標系v2'に移動)。なお、符号30aは、傾斜移動前の特徴部を表

50

わしている。ステップ T 1 3 完了後にロボット位置 Q f4 を取得し (ステップ T 1 4)、記憶する。

ここで、ロボットが Q f4 に位置決めされている時の f' から見た $v2'$ の Z 軸は V で表され、ロボットが Q f1 に位置決めされている時の $v2$ の Z 軸は、

$$Q f4^{-1} \cdot Q f1 \cdot V$$

で表される。両者の Z 軸の交点を求めれば、それがロボット位置 Q f4 における特徴部代表点 3 1 の位置 (座標系 b' 上での位置) となる。これをロボット位置 Q f4 を用いて $S f'$ に変換すればそれが求めるものである (ステップ T 1 5)。

【 0 0 6 5 】

次に、V f の求め方について述べる。 f から見た特徴部代表点 3 1 の位置 V f を求める手順の概略は、図 1 6 のフローチャートに示されている。なお、このフローチャートにおいて、「ロボット」はロボット R 1 を指すものとする。また、便宜上、記号を一部図 1 1 のフローチャートと共用しているが、図 1 6 のフローチャート内及びその説明中でのみ有効なものである。

【 0 0 6 6 】

[ステップ T 1'、T 2' について]

所定点移動処理は、前述したステップ T 1、T 2 と同様のプロセスで行なうものなので詳細説明は省略するが、要するに、受光デバイス (カメラ、P S D 等) で捉えられた特徴部代表点 3 1 が「受光面上の所定点」に向かうような方向に、受光デバイスを移動させ、実際に、受光面上において所定の誤差内で特徴部代表点 3 1 を所定点に一致させる処理のことである。「受光面上の所定点」として、ここでも「受光面 (C C D アレイ) の中心点」を採用する。

【 0 0 6 7 】

[ステップ T 3' について]

所定点移動処理が完了した時点、即ち、画像中心に特徴部代表点像が得られるロボット位置に移動が完了したら、ロボット座標系 b 上での座標系 f の位置 Q f1 を取得し、記憶しておく。

【 0 0 6 8 】

[ステップ T 4' について]

次に、視線 4 0 の方向を求める処理に移る。視線 4 0 は、画像中心に特徴部代表点像が写っている状態において、画像中心に相当するカメラ撮像面上の点 M と特徴部代表点 3 1 を結ぶ直線である。ここでは、この直線がロボット R 1 のメカニカルインターフェイスを表わす座標系 f に対して、どのような方向を向いているか求める。そのために先ずステップ T 4' の処理によりロボット R 1 を並進移動させる。

図 1 7 はこの処理に関連する説明図で、同図において、座標系 $v1$ は視線 4 0 の方向を求めるために考える座標系であり、次の条件を満たすものとする。

(I) 座標系 f と座標系 $v1$ とは同一の原点を持つ。

(I I) 座標系 $v1$ の Z 軸方向は視線 4 0 の方向と一致する。

この座標系 $v1$ の Z 軸が、所定点移動処理完了時に座標系 f 上でどの方向を向いているかを求める。より具体的には、座標系 f 上での座標系 $v1$ の姿勢を表わすオイラー角 (W、P、R) の内の (W、P) 成分を求めることを考える。

【 0 0 6 9 】

そのために、先ず実行するのがこのステップ T 4' の並進移動である。この移動では、カメラの姿勢を変えずにカメラと特徴部代表点 3 1 の距離が異なる位置へロボット R 1 を並進移動させる (矢印 A 参照)。図 1 7 中における符号 4 a、4 b は移動前、移動後のカメラを表わしている。

【 0 0 7 0 】

[ステップ T 5'、T 6' について]

ステップ T 4' による並進移動を行なうと、当然、一般には特徴部代表点 3 1 の像は再度画像中心 (受光面の中心) から外れる。そこで、再度、所定点移動処理を実行する (ス

10

20

30

40

50

テップ T 5 ')。所定点移動処理については説明済みであり、特徴部代表点 3 1 の像は再び画像中心 (受光面の中心) M から誤差範囲内の位置に戻る。ステップ T 5 ' の完了後に、ロボット座標系 b 上での座標系 f の位置 Q f2 を取得し、記憶する (ステップ T 6 ')。

【 0 0 7 1 】

[ステップ T 7 ' について]

上記ステップ T 3 ' で得た Q f1 と上記ステップ T 6 ' で得た Q f2 とを結ぶ直線は、視線 4 0 の方向を表わしている。ステップ T 4 ' のロボット R 1 移動前の f 上で見た Q f1 から Q f2 への相対移動量を d X、d Y、d Z とすると、座標系 f 上での座標系 v1 の姿勢を表わすオイラー角 (W、P、R) は下記の式で計算できる。これにより、座標系 v1 が定められたことになり、その Z 軸方向が視線 4 0 の方向を表わしている。

【 0 0 7 2 】

【 数 3 】

$$W = \tan^{-1} \left(\frac{-dY}{\sqrt{(dX)^2 + (dZ)^2}} \right)$$

$$P = \tan^{-1} \left(\frac{dX}{dZ} \right)$$

$$R = 0$$

10

20

【 0 0 7 3 】

[ステップ T 8 '、T 9 '、T 1 0 '、T 1 1 ' について]

ステップ T 7 ' で視線 4 0 の方向が求められたので、次に視線 4 0 の位置を求める処理に進む。図 1 8 (a)、(b) はこの処理に関連する説明図で、図 1 8 (b) 中、座標系 v2 は視線 4 0 の位置と方向を表わす座標系で、図 5 において座標系 v として表記されたものに対応し、次の条件を満たすものとする。

(I I I) 座標系 v2 は視線 4 0 上に原点を持つ。

(I V) 座標系 v2 の Z 軸方向は視線 4 0 の方向と一致する。

既に視線 4 0 の方向が座標系 v1 (図 1 8 (a) 参照) の姿勢で Z 軸として求められており、座標系 v2 の Z 軸方向は座標系 v1 の Z 軸方向と同一である。原点位置を求めるために、Q f1 を座標系 v1 の Z 軸周りで 1 8 0 度回転させた位置へロボット R 1 を移動させ (ステップ T 8 ')、次いで再び所定点移動処理を実行する (ステップ T 9 ')。図 1 8 (a) はこの回転移動 (矢印 B 参照) と、所定点移動処理による移動が完了した状態を併記しており、図 1 8 (b) には、座標系 v2 の原点位置が示されている。座標系 v2 の原点位置は、回転移動前後の座標系 f の中点で与えられる。

30

【 0 0 7 4 】

そこで、回転移動完了後にロボット R 1 の位置 Q f3 を取得し、記憶する (ステップ T 1 0 ')。そして、この Q f1 と Q f3 の中点を座標系 v2 の原点位置として求める。

【 0 0 7 5 】

ステップ T 8 ' によるロボット R 1 移動前の座標系 f 上で見た Q f1 から Q f3 への相対移動量を d X、d Y、d Z とし、座標系 f 上で見た座標系 v2 の原点 (X、Y、Z) を下記の式で求める。座標系 v2 の姿勢は座標系 v1 の姿勢と同一であるから、結局、ステップ T 8 ' によるロボット R 1 移動前の座標系 f 上で見た座標系 v2 の位置・姿勢が求められることになる (ステップ T 1 1 ')。これを表わす行列を V で表わす。

40

【 0 0 7 6 】

【数 4】

$$X = \frac{dX}{2}$$

$$Y = \frac{dY}{2}$$

$$Z = \frac{dZ}{2}$$

【0077】

[ステップ T12'、T13'、T14'、T15' について]

最後に、視線 40 の位置・姿勢を利用して、特徴部代表点の 3 次元位置を求める処理を実行する。図 19 はこれに関連する説明図である。Qf1 を座標系 v2 の Y 軸周りに傾けた位置にロボット R1 を傾斜移動させる (ステップ T12')。

そして再度所定点移動処理を実行する (ステップ T13')。図 19 は、この処理完了後の状態が視線 40 b とともに示されている (座標系 v2 は座標系 v2' に移動)。なお、視線 40 a は、傾斜移動前の視線を表わしている。ステップ T13' 完了後にロボット R1 の位置 Qf4 を取得し (ステップ T14')、記憶する。

【0078】

ここで、ロボット R1 が Qf1 に位置決めされている時 (ステップ T3' 参照) の f 上
20
で見た視線は V で表わされる一方、ロボットが Qf4 に位置決めされている時の視線は、

$$Qf1^{-1} \cdot Qf4 \cdot V$$

で表わされる。これらの式から、両者の Z 軸の交点を求めれば、それが特徴部代表点 (被測定ターゲット) 31 の 3 次元位置となる。これをロボット位置を用いて Vf に変換すればそれが求めるものである (ステップ T15')。

【図面の簡単な説明】

【0079】

【図 1】本発明の実施形態における全体構成の概略を示した図である。

【図 2】実施形態で用いるロボット制御装置のブロック構成の例を示した図である。

【図 3】実施形態で用いる画像処理装置のブロック構成の例を示した図である。

【図 4】実施形態で実行される準備の手順の概要を記したフローチャートである。

【図 5】目標値設定用基準状態における特徴部の位置とカメラの搭載位置との関係を示した図である。

【図 6】目標値設定用基準状態における特徴部の画像の例を表わした図である。

【図 7】実施形態で実行されるキャリブレーションの手順を説明するフローチャートである。

【図 8】実施形態で特徴部の位置と大きさを画像上で目標値に一致させる移動について説明する図である。

【図 9】実施形態で特徴部の位置と大きさを画像上で目標値に一致させる移動の手順について説明するフローチャートである。

【図 10】ロボット制御装置を一台とした変形例を示した図である。

【図 11】 f' から見た特徴部代表点の位置 Sf' を求める手順の概略を記したフローチャートである。

【図 12】特徴部代表点を受光デバイスの受光面の中心点に移動させる様子をモニタ画面を用いて示した図である。

【図 13】ステップ T4 の処理に関連する説明図である。

【図 14】ステップ T8 の処理に関連する説明図で、(a) は回転移動による座標系 v1 の移動の様子を表わし、(b) は回転移動と座標系 v2 の位置の関係を表わしている。

【図 15】 Sf' を求める処理に関連する説明図である。

【図 16】 f から見た特徴部代表点の位置 Vf を求める手順の概略を記したフローチャ

10

20

30

40

50

ートである。

【図17】ステップT4'の処理に関連する説明図である。

【図18】ステップT8'の処理に関連する説明図で、(a)は回転移動による座標系v1の移動の様子を表わし、(b)は回転移動と座標系v2の位置の関係を表わしている。

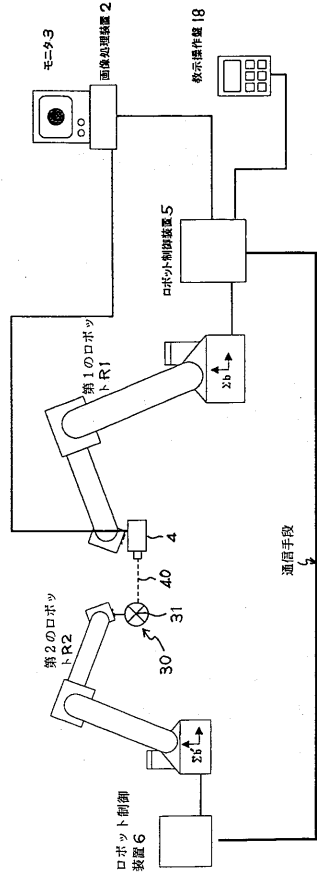
【図19】特徴部代表点の3次元位置を求める処理に関連する説明図である。

【符号の説明】

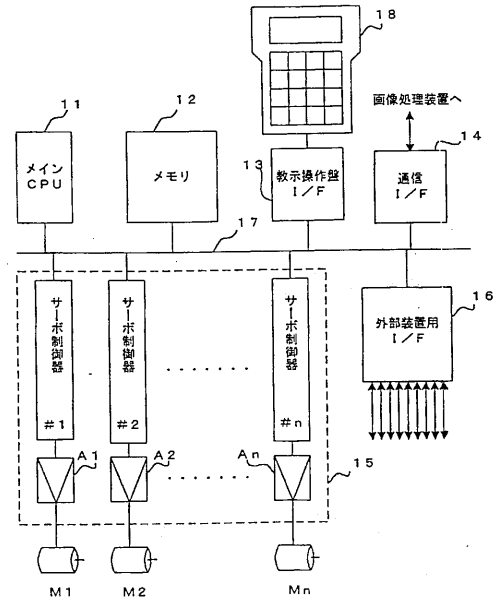
【0080】

- | | | |
|---------------------|-----------------------|----|
| 1、5、6 | ロボット制御装置 | |
| 2 | 画像処理装置 | |
| 3 | モニタ | 10 |
| 4 | カメラ | |
| 11 | メインCPU(ロボット制御装置内) | |
| 12 | メモリ | |
| 13 | 教示操作盤用インターフェイス | |
| 14 | 通信インターフェイス(ロボット制御装置側) | |
| 15 | サーボ制御器 | |
| 16 | 外部装置用の入出力インターフェース | |
| 17、50 | バス | |
| 18 | 教示操作盤 | |
| 20 | CPU(画像処理装置内) | 20 |
| 21 | ROM | |
| 22 | 画像処理プロセッサ | |
| 23 | カメラインターフェイス | |
| 24 | モニタインターフェイス | |
| 25 | 入力機器 | |
| 26 | フレームメモリ | |
| 27 | 不揮発性メモリ | |
| 28 | RAM | |
| 29 | 通信インターフェイス(画像処理装置側) | |
| 30 | 特徴部(マーク) | 30 |
| 30a、30b、30c、30d、30e | 特徴部の像(または移動前後の位置) | |
| 31 | 特徴部代表点 | |
| 31a、31b、31c、31d、31e | 特徴部代表点の像 | |
| 32 | ツール取付面 | |
| 40、40a、40b | 視線 | |
| R1 | 第1のロボット | |
| R2 | 第2のロボット | |

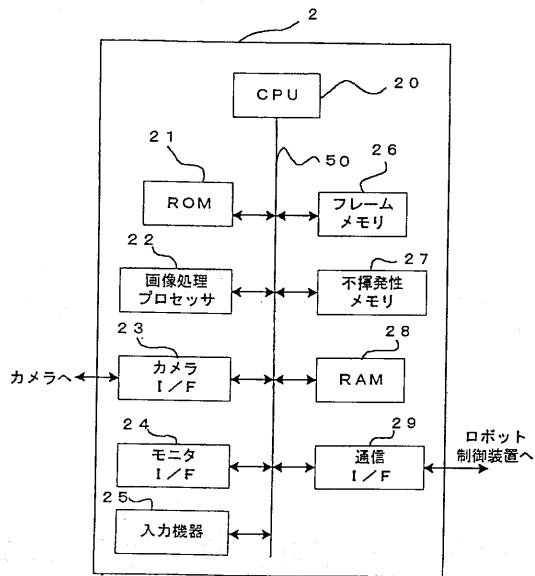
【図1】



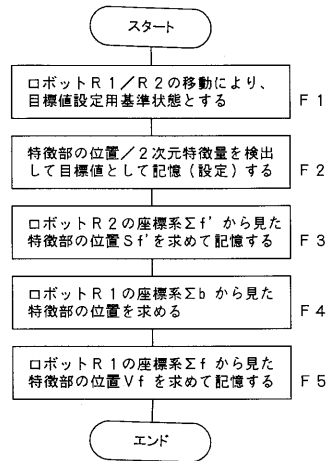
【図2】



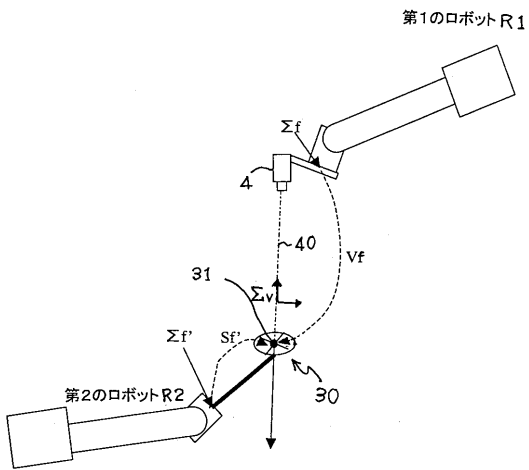
【図3】



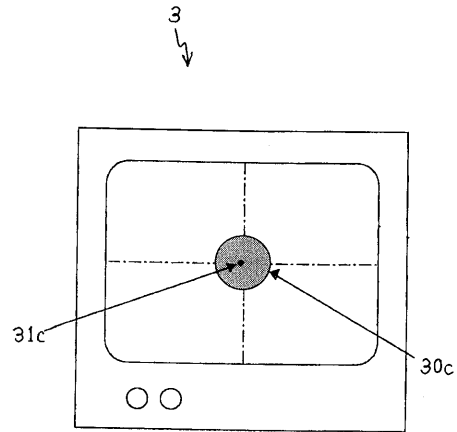
【図4】



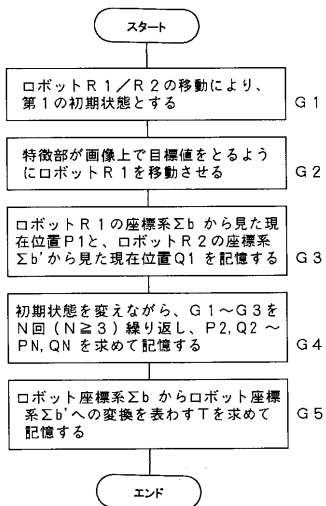
【 図 5 】



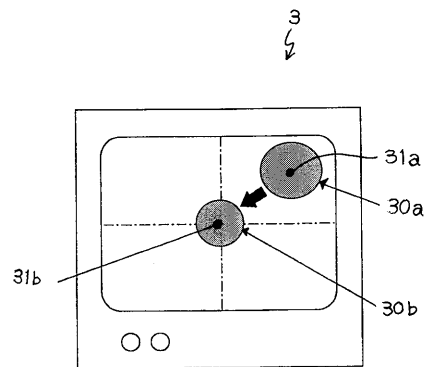
【 図 6 】



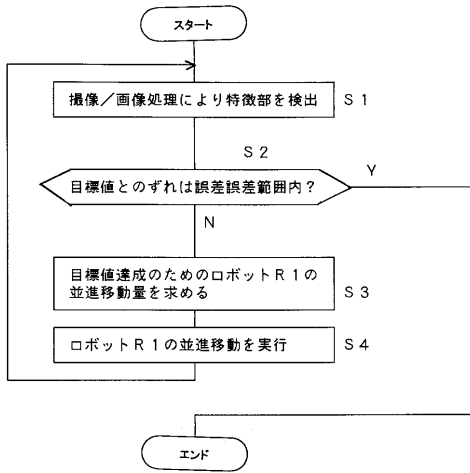
【 図 7 】



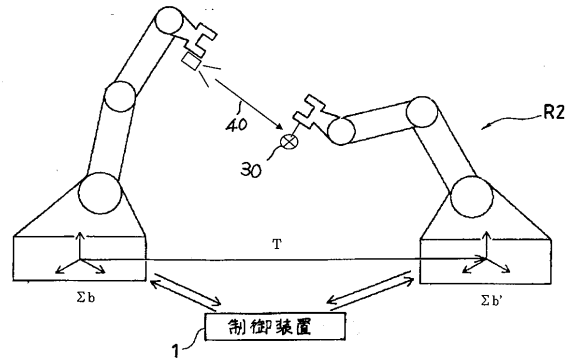
【 図 8 】



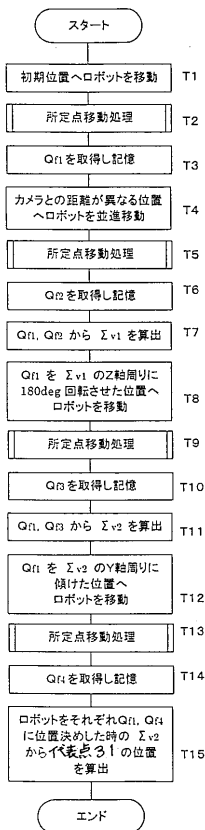
【 図 9 】



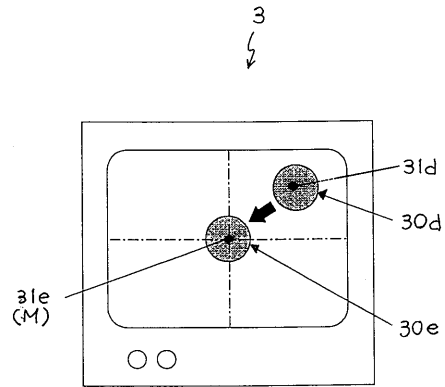
【 図 10 】



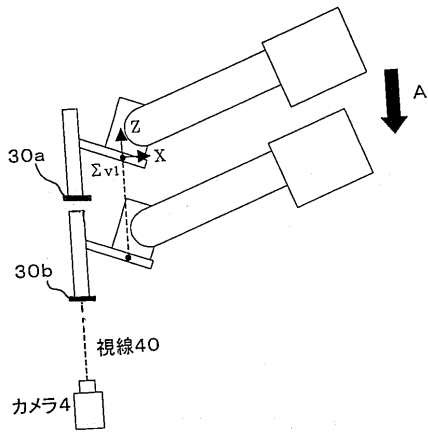
【 図 11 】



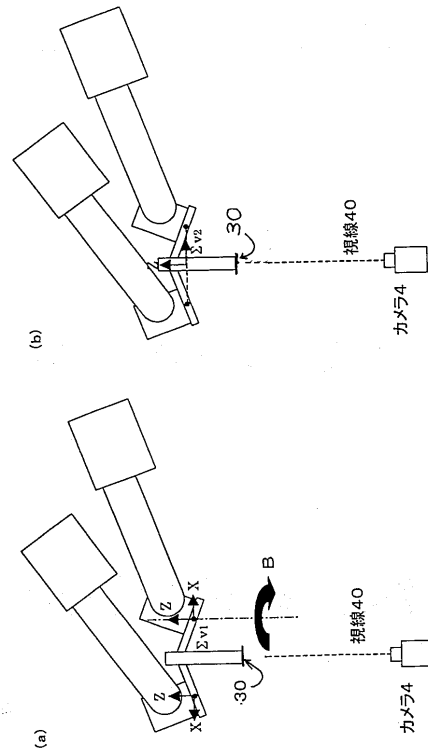
【 図 12 】



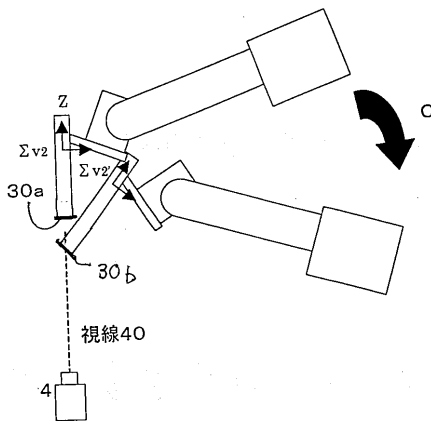
【図13】



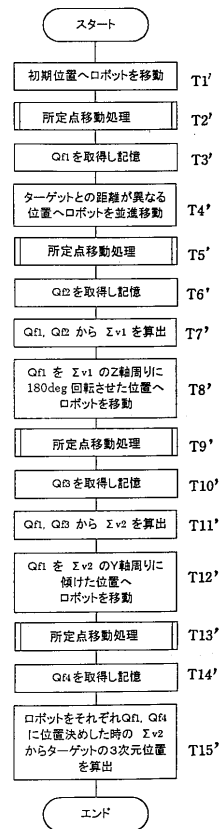
【図14】



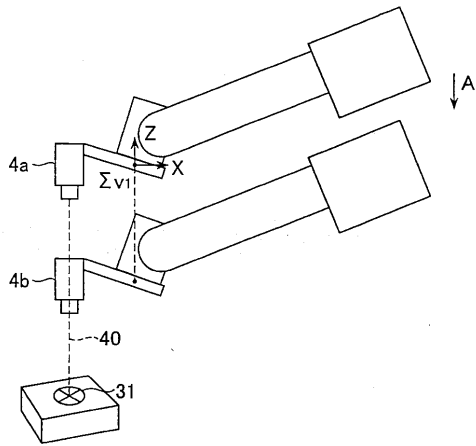
【図15】



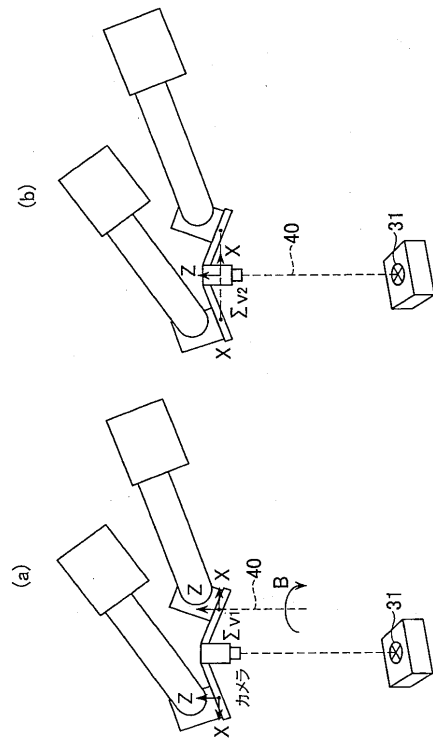
【図16】



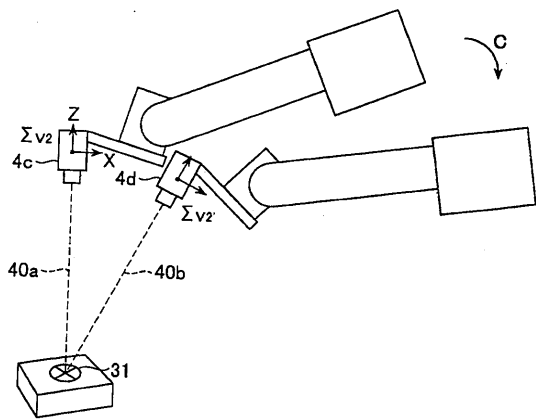
【 図 17 】



【 図 18 】



【 図 19 】



フロントページの続き

- (72)発明者 管野 一郎
山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社 内
- (72)発明者 山田 慎
山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社 内
- (72)発明者 井上 俊彦
山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社 内

審査官 大山 健

- (56)参考文献 特開平07-098208(JP,A)
特開平07-098214(JP,A)
特開平11-184526(JP,A)
特開平06-278063(JP,A)
特開平05-111897(JP,A)
特開平08-129408(JP,A)
特開平08-321973(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J 1/00-21/02
G05B 19/18
G05B 19/19