

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-125478
(P2005-125478A)

(43) 公開日 平成17年5月19日(2005.5.19)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
B 2 5 J 9/10	B 2 5 J 9/10	3 C 0 0 7
B 2 5 J 9/22	B 2 5 J 9/22	5 H 2 6 9
G 0 5 B 19/18	G 0 5 B 19/18	
	G 0 5 B 19/18	

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2004-27745 (P2004-27745)	(71) 出願人	000006622
(22) 出願日	平成16年2月4日(2004.2.4)		株式会社安川電機
(31) 優先権主張番号	特願2003-338059 (P2003-338059)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(32) 優先日	平成15年9月29日(2003.9.29)	(72) 発明者	安藤 慎悟
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
			株式会社安川電機内
		(72) 発明者	井上 康之
			福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
			株式会社安川電機内
		F ターム(参考)	3C007 AS11 BS10 KS17 KS36 KT01
			KT06 KT17 KV11 KX06 LS05
			LS06 LT17 LV02
			5H269 AB12 AB33 BB01 BB07 CC09
			CC13 DD06 FF02 JJ09 JJ18
			JJ20 KK10 SA08

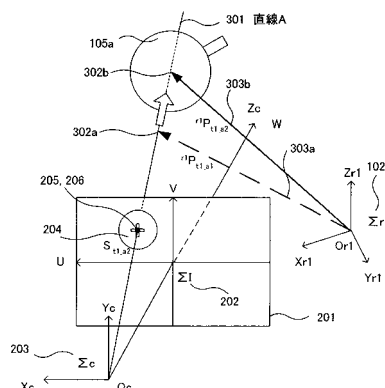
(54) 【発明の名称】 複数ロボット間の相対位置計測方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 ロボットのツール先端同士を突き合わせる必要がないとともに、測定装置のパラメータの同定が不要で、さらに測定装置のコストが小さい複数ロボット間の相対位置計測システムを提供する。

【解決手段】 複数のロボットの可動部の特徴点を少なくとも3本の直線301上で動作させて、各直線301上の少なくとも2点302a, 302bにおける前記特徴点のロボット座標値303a, 303bを測定するとともに、各直線301上の特定点Ocから前記特徴点までの距離または距離と相関関係を持つ物理量を測定し、各直線・各ロボットについて得られた測定値を基に複数ロボット間の相対位置関係を計算するものである。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のロボットの可動部の特徴点を少なくとも 3 本の直線上で動作させて、前記各直線上の少なくとも 2 点における前記特徴点のロボット座標値を測定するとともに、前記各直線上の特定点から前記特徴点までの距離または距離と相関関係を持つ物理量を測定し、各直線・各ロボットについて得られた測定値を基に複数ロボット間の相対位置関係を計算することを特徴とする複数ロボット間の相対位置計測方法。

【請求項 2】

前記特徴点を撮像装置で撮像して、その画像を画像表示装置に表示して、前記画像表示装置上の前記特徴点の画像が、前記画像表示装置上に定義された基準点と一致するように前記ロボットを操作して、前記特徴点を直線上で動作させることを特徴とする請求項 1 記載の複数ロボット間の相対位置計測方法。

10

【請求項 3】

前記ロボットの可動部にターゲット物体を設け、前記ターゲット物体に前記特徴点を定義し、前記画像表示装置上に表示された前記ターゲット物体のイメージの面積または明るさを前記距離と相関関係を持つ物理量とすることを特徴とする請求項 2 記載の複数ロボット間の相対位置計測方法。

【請求項 4】

前記ロボットの可動部にターゲット物体を設け、前記ターゲット物体に前記特徴点を定義するとともに、前記撮像装置にズームレンズを取り付け、前記画像表示装置に映し出された前記ターゲット物体のイメージの面積が一定となるように前記ズームレンズを移動させ、そのときの前記ズームレンズの移動量を前記距離と相関関係を持つ物理量とすることを特徴とする請求項 2 記載の複数ロボット間の相対位置計測方法。

20

【請求項 5】

前記ターゲット物体を発光させることを特徴とする請求項 3 または請求項 4 記載の複数ロボット間の相対位置計測方法。

【請求項 6】

大きさまたは明るさの異なる複数のターゲット物体をロボットの可動部に設け、前記撮像装置からの距離に応じて前記ターゲット物体を切り替えることを特徴とする請求項 3 乃至 5 記載の複数ロボット間の相対位置計測方法。

30

【請求項 7】

レーザ発振装置から発振するレーザ光に沿って、前記ロボットの可動部の特徴点を直線動作させることを特徴とする請求項 1 記載の複数ロボット間の相対位置計測方法。

【請求項 8】

ロボットの可動部にターゲット物体を設け、前記ターゲット物体に前記特徴点を定義し、前記レーザ光を前記ターゲット物体に照射して、前記レーザ光の光点が前記特徴点に一致するように前記ロボットを操作して、前記特徴点を直線動作させることを特徴とする請求項 7 記載の複数ロボット間の相対位置計測方法。

【請求項 9】

撮像装置の光軸とレーザ発振装置のレーザ光軸が平行となるように、前記撮像装置と前記レーザ発信装置を一体にした装置を使用することを特徴とする請求項 8 記載の複数ロボット間の相対位置計測装置。

40

【請求項 10】

細長い棒状ジグに沿って、前記ロボットの可動部の特徴点を直線動作させることを特徴とする請求項 1 記載の複数ロボット間の相対位置計測方法。

【請求項 11】

前記棒状ジグに距離目盛を付し、その距離目盛を使って、前記特徴点までの距離を測定することを特徴とする請求項 10 記載の複数ロボット間の相対位置計測方法。

【請求項 12】

前記ロボットそれぞれ対して 2 つ以上の平行な平面を定義し、前記特徴点を前記各平面上

50

に拘束させて前記各直線と前記各平面との交点に前記特徴点を位置決めし、前記各交点における前記特徴点のロボット座標値を測定することを特徴とする請求項1または請求項2記載の複数ロボット間の相対位置計測方法。

【請求項13】

前記各交点における前記特徴点のロボット座標値をもとに、前記距離と相関関係を持つ物理量を測定することを特徴とする請求項12記載の複数ロボット間の相対位置計測方法。

【請求項14】

前記2つ以上の平行な平面のうち、ある平面上の前記交点間の距離と他の平面上の前記交点間の距離の比を、前記距離と相関関係を持つ物理量とすることを特徴とする請求項13記載の複数ロボット間の相対位置計測方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数台のロボットが協調して作業する際に、ロボット間の相対位置関係を計測する方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

2台のロボットを向い合せに配置して、一方のロボットでワークを把持して、他方のロボットにアーク溶接用トーチを持たせて、前記ワークに対してアーク溶接作業を行う装置が知られている。また、重量物のハンドリングや自動車ボディのスポット溶接など、複数

20

台のロボットが協調して作業する事例も増加している。
このように複数台のロボットが協調作業する際には、ロボット間の相対位置関係（ロボットベース座標同士的位置と姿勢）を予め取得し、ロボットの制御装置にその相対位置関係を設定しておく必要がある。このための相対位置を求める方法が各種提案されている。

例えば、特許文献1には、一方のロボットの回転部上の1点に対して他方のロボットのツール先端を突き合わせ、その時の教示データを求めることを、前記回転部の角度を違えて3回繰り返して得られた、3通りの教示データに基づいて、前記他方のロボットの座標系からみた前記一方のロボットの座標系の相対位置を求める方法が開示されている。

また、特許文献2には、一方のロボットの手首フランジに力覚センサと面状ツールを取り付け、他方のロボットの手首フランジに針状ツールを取り付け、直線上にない3点において面状ツールと針状ツールを接触させて、一方のロボットのベース座標系における各接

30

触点の位置と、他方のロボットのベース座標系における針状ツールの位置により、ロボット間の相対位置を求める方法が開示されている。
また、非特許文献1には、2台のロボットのツール先端にマーカを取り付け、適当な場所に2台のカメラを配置し、各々のロボットを動かしたときの複数の異なるマーカ位置を2台のカメラで測定することによって、ロボット間の相対位置関係を計算する方式が提案されている。この方式は、基本的にはカメラのステレオ視の原理（非特許文献2の第4章参照）を利用している。

【特許文献1】特開平6-278063号公報（第9頁、図1、図3、図5）

【特許文献2】特開平5-111897号公報（第6頁、図1）

40

【非特許文献1】菊地ほか、「“Plug & Produce”のためのロボット間キャリブレーション」, 第19回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.1065-1066, 2001

【非特許文献2】出口光一郎, 「ロボットビジョンの基礎」, コロナ社, 2000年7月12日

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、特許文献1あるいは特許文献2の方法では、ロボットのツール同士を突き合わせているので、ツールやロボットを破損させる危険性があり、安全上の問題があった。また、ロボットを破損させないように動作させるため、作業者にストレスを与えるという問題もあった。

50

非特許文献 1 の方式は、カメラによりマーカを観測するのでロボットのツール先端同士を突き合わせる必要がないという利点があるが、ステレオ視の原理に基づいているので 2 台のカメラが必要になり、測定装置のコストが増加するという問題がある。また、カメラパラメータの同定（キャリブレーション）が必要になるという問題もある。

本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、ロボットのツール先端同士を突き合わせる必要がないとともに、測定装置のパラメータの同定が不要で、さらに測定装置のコストが小さい複数ロボット間の相対位置計測システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0004】

上記問題を解決するために、請求項 1 の発明は、複数のロボットの可動部の特徴点を少なくとも 3 本の直線上で動作させて、前記各直線上の少なくとも 2 点における前記特徴点のロボット座標値を測定するとともに、前記各直線上の特定点から前記特徴点までの距離または距離と相関関係を持つ物理量を測定し、各直線・各ロボットについて得られた測定値を基に複数ロボット間の相対位置関係を計算するものである。

【0005】

また、請求項 2 の発明は、前記特徴点を撮像装置で撮像して、その画像を画像表示装置に表示して、前記画像表示装置上の前記特徴点の画像が、前記画像表示装置上に定義された基準点と一致するように前記ロボットを操作して、前記特徴点を直線上で動作させるものである。

【0006】

また、請求項 3 の発明は、前記ロボットの可動部にターゲット物体を設け、前記ターゲット物体に前記特徴点を定義し、前記画像表示装置上に表示された前記ターゲット物体のイメージの面積または明るさを前記距離と相関関係を持つ物理量とすることを特徴とするものである。

【0007】

また、請求項 4 の発明は、前記ロボットの可動部にターゲット物体を設け、前記ターゲット物体に前記特徴点を定義するとともに、前記撮像装置にズームレンズを取り付け、前記画像表示装置に映し出された前記ターゲット物体のイメージの面積が一定となるように前記ズームレンズを移動させ、そのときの前記ズームレンズの移動量を前記距離と相関関係を持つ物理量とするものである。

【0008】

また、請求項 5 の発明は、前記ターゲット物体を発光させるものである。

【0009】

また、請求項 6 の発明は、大きさまたは明るさの異なる複数のターゲット物体をロボットの可動部に設け、前記撮像装置からの距離に応じて前記ターゲット物体を切り替えるものである。

【0010】

また、請求項 7 の発明は、レーザ発振装置から発振するレーザ光に沿って、前記ロボットの可動部の特徴点を直線動作させるものである。

【0011】

また、請求項 8 の発明は、ロボットの可動部にターゲット物体を設け、前記ターゲット物体に前記特徴点を定義し、前記レーザ光を前記ターゲット物体に照射して、前記レーザ光の光点が前記特徴点に一致するように前記ロボットを操作して、前記特徴点を直線動作させるものである。

【0012】

また、請求項 9 の発明は、撮像装置の光軸とレーザ発振装置のレーザ光軸が平行となるように、前記撮像装置と前記レーザ発信装置を一体にした装置を使用するものである。

【0013】

また、請求項 10 の発明は、細長い棒状ジグに沿って、前記ロボットの可動部の特徴点

10

20

30

40

50

を直線動作させるものである。

【0014】

また、請求項11の発明は、前記棒状ジグに距離目盛を付し、その距離目盛を使って、前記特徴点までの距離を測定するものである。

【0015】

また、請求項12の発明は、前記ロボットそれぞれに対して2つ以上の平行な平面を定義し、前記特徴点を前記各平面上に拘束させて前記各直線と前記各平面との交点に前記特徴点を位置決めし、前記各交点における前記特徴点のロボット座標値を測定するものである。

【0016】

また、請求項13の発明は、前記各交点における前記特徴点のロボット座標値をもとに、前記距離と相関関係を持つ物理量を測定するものである。

10

【0017】

また、請求項14の発明は、前記2つ以上の平面のうち、ある平面上の前記交点間の距離と他の平面上の前記交点間の距離の比を、前記距離と相関関係を持つ物理量とするものである。

【発明の効果】

【0018】

請求項1～6に記載の発明によると、カメラ1台の撮像平面の基準点にロボットツール上ターゲットの特徴点が一致するようにロボットを動かすことによって特徴点を直線上に拘束することができ、また、撮像平面上でのターゲットイメージの面積または明るさを測定することによってターゲットまでの距離を推定することができるので、低コストでロボットツールの先端同士を突き合わせることなくロボット間の相対位置関係を計測できる。さらに、カメラパラメータを同定することなくロボット間の相対位置関係を計測できる。

20

また、請求項7～9に記載の発明によると、レーザ距離センサのレーザ光線がロボットツール上ターゲットの特徴点に照射されるようにロボットを動かすことによって特徴点を直線上に拘束することができ、また、レーザ距離センサを利用して直接ターゲットまでの距離を測定することができるので、ロボットツールの先端同士を突き合わせることなくロボット間の相対位置関係を正確に計測できる。

また、請求項10～11に記載の発明によると、細長い棒状ジグを利用してロボットツールの特徴点を直線上に拘束するので、ロボットツールの先端同士を突き合わせることなくロボット間の相対位置関係を手軽に計測できる。

30

また、請求項12～14に記載の発明によると、カメラ1台の撮像平面の基準点にロボットツール上マーカの特徴点が一致するようにロボットを動かすことにより、さらに予め設定した平面上に特徴点が拘束されるようにロボットを動かすことによって、各平面と各直線との交点に特徴点を位置決めし、そこでの特徴点のロボット座標値を測定することによって、ロボット座標値だけを使ってターゲット（特徴点）までの距離を推定することができるので、低コストでロボットツールの先端同士を突き合わせることなくロボット間の相対位置関係を正確に計測できる。さらに、カメラパラメータを同定することなくロボット間の相対位置関係を計測できる。

【発明を実施するための最良の形態】

40

【0019】

以下、本発明の具体的実施例を図に基づいて説明する。

【実施例1】

【0020】

図1は、本発明の第1実施例を示す相対位置計測装置の構成図である。図において、101aおよび101bは相対位置計測の対象の第1のロボットおよび第2のロボットである。102a, 102bは第1および第2のロボットに固定されたベース座標系である。103a, 103bは第1および第2のロボットの制御装置であり、104a, 104bは第1および第2のロボットの操作インターフェイスである。また、105a, 105bは第1および第2のロボットのツール先端に取り付けた球状ターゲットである。ここで、

50

球状ターゲット105a, 105bの幾何学的重心(球の中心)をこのターゲットの特徴点と定義する。

106は撮像装置(CCDカメラ)である。107は撮像装置106が出力するビデオ信号を処理する画像処理装置であり、108は画像処理装置107が出力した画像データを作業者に提示(表示)する画像表示装置である。109は、第1および第2のロボットの制御装置102a, 102bと画像処理装置107から得られるデータをもとにロボット間の相対位置関係(ベース座標系102aと102bの位置関係)を演算する相対位置演算装置である。また、110は撮像装置106の支持部である。

なお、撮像装置106の設置場所は、第1のロボット101aおよび第2のロボット101bの球状ターゲット105a, 105bを共に撮影できる場所であれば何処でもよく、その位置を測定する必要はなく(未知でよい)、撮像装置106について予め何らかのキャリブレーションをする必要もない。

10

【0021】

図2は、本発明の第1実施例を示す画像表示の説明図である。図において、201は画像表示装置108に表示される撮像平面であり、202は撮像平面201の座標系 $I(U$ 軸、 V 軸、 W 軸)であり、203は撮像装置106のカメラ座標系 $c(Xc$ 軸、 Yc 軸、 Zc 軸)である。カメラ座標系203の Zc 軸は撮像装置106の光軸に一致し、撮像面201に対して垂直になっている(W 軸と Zc 軸は一致する)。ここで、カメラ座標系203の原点から撮像平面201までの距離 f はレンズの焦点距離に一致する。204は撮像平面201に結像された球状ターゲット105aのイメージ(像)である。205はイメージ204の重心であり、画像処理装置107によってその座標値が計算され、イメージ204上にオーバーレイされる。例えば、画像処理装置107は、撮像装置106からのビデオ信号を2値化処理して円状領域を抽出し、抽出された領域の重心位置を計算する。206は、作業者が指定する撮像平面上の基準点であり、画像処理装置107によって基準点206のマーカを撮像平面201上にオーバーレイする。ここで、撮像平面201における基準点206の座標値を (u_a, v_a) と表す。

20

作業者は、画像表示装置108により撮像平面201の様子を目視しながら、イメージ204の重心205が基準点206に一致するように、操作インターフェイス104aを用いて第1のロボット101aの球状ターゲット105aを移動させる。あるいは、画像ベースの視覚サーボ技術(非特許文献2の第6章参照)を適用し、画像処理装置107において基準点206と重心205間の撮像平面201上での位置偏差を画像ヤコビアン行列によりロボット座標系での微小位置変化量に変換し、その変化量を第1のロボット101aの制御装置103aに与えて位置フィードバックを構成することにより、基準点206と重心205が一致するように第1のロボット101aの球状ターゲット105aを自動で移動させることもできる。

30

【0022】

以上の操作により、撮像平面201上において重心205と基準点206が一致した状態を図3に示す。この状態では、第1のロボットの球状ターゲット105aの特徴点(球の中心)は、カメラ座標系203の原点 O_c と基準点206を通る直線301上の位置302aにある(ターゲットの形状、レンズの結像原理、カメラの撮像原理から明らか)。

40

この状態で、作業者は、第1のロボットのベース座標系102aを基準にした特徴点302aへの位置ベクトル303a(${}^1P_{t1_a1}$)を測定する。一般的な産業用ロボットでは、第1のロボット101aの各関節軸に組み込まれたエンコーダ(内界センサ)値から順キネマティクス演算によりTCP位置が制御装置103aで計算され、その結果を操作インターフェイス104a上で確認することができる。この一般的な機能を利用して位置ベクトル303aを測定すればよい。また、画像処理装置107と画像表示装置108を利用して、撮像平面201上のイメージ204の面積(S_{t1_a1})を測定する。画像処理装置107内で抽出された円状領域の面積を自動計算しても良いし、画像平面201上に手動カーソルをオーバーレイさせて画像表示装置108上でカーソルから面積を読み取っても良い。

50

【0023】

つぎに、図4に示すように、作業者は第1のロボット101aの操作インターフェイス104aを用いて球状ターゲット105aを撮像平面201に対して奥行き方向（Zc軸方向）に移動させた上で、再度、イメージ204の重心205が基準点206に一致するように球状ターゲット105aを移動させる。このとき球状ターゲット105aの特徴点は、直線301上ではあるが図3に示した302aとは異なる点にある。図4における特徴点位置を302bで表す。図3のときと同様に、作業者は、第1のロボットの座標系102aを基準にした特徴点302bへの位置ベクトル ${}^1P_{t1_a2}$ （ ${}^1P_{t1_a2}$ ）とイメージ204の面積（ S_{t1_a2} ）を測定する。

つぎに、撮像平面201上で基準点206とは異なる第2の基準点および第3の基準点を定義し、基準点206の場合と同様に、カメラ座標系203の原点0cと前記第2および第3の基準点を結ぶ各直線上に球状ターゲット105aの特徴点を位置決めして、特徴点の位置ベクトルおよび球状ターゲット105aの画像の面積を求める。すなわち、前記第2の基準点について、位置ベクトル ${}^1P_{t1_b1}$ および ${}^1P_{t1_b2}$ 、面積 S_{t1_b1} および S_{t1_b2} を、前記第3の基準点について、位置ベクトル ${}^1P_{t1_c1}$ および ${}^1P_{t1_c2}$ 、面積 S_{t1_c1} および S_{t1_c2} を求める。

そして、第2のロボット101bについても、同様の測定処理を行う（ロボットが3台以上ある場合についても同様）。

なお、各ロボットの各直線上に対する上述した位置ベクトルとターゲット面積の測定順序は、上記の説明にとられるものではなく、任意の順序で測定してもよい。

【0024】

次に、上述した測定データに基づいて、第1のロボット101aと第2のロボット101b間の相対位置を求める手順を説明する。

直線301（図3、図4参照）上に第1のロボット101aの球状ターゲット105aの中心（特徴点）を置いたときに、次式が成り立つ。

【0025】

$${}^cP_{0c0r1} + {}^cR_{r1} \cdot {}^1P_{t1_a1} = w_{t1_a1} (ua, va, f)^T \quad (1)$$

【0026】

$${}^cP_{0c0r1} + {}^cR_{r1} \cdot {}^1P_{t1_a2} = w_{t1_a2} (ua, va, f)^T \quad (2)$$

【0027】

ここで、 ${}^cP_{0c0r1}$ は、カメラ座標系203の原点0cから第1のロボット101aのベース座標系102aの原点0r1までの位置ベクトル（サイズ 3×1 ）をカメラ座標系203を基準にして表したものである（左上の添え字は基準とする座標系を表す）。 ${}^cR_{r1}$ は、第1のロボット101aのベース座標系102aからカメラ座標系203への回転行列（サイズ 3×3 ）である。（ ua, va, f ）^T は、カメラ座標系203の原点0cから撮像平面201上の基準点206までの位置ベクトルである（カメラ座標系203基準）。また、 w_{t1_a1} と w_{t1_a2} は透視変換におけるスケールファクタであり、それぞれ、カメラ座標系203の原点0cから特徴点302a, 302bまでの距離に比例する正数になる。 ${}^1P_{t1_a1}$ と ${}^1P_{t1_a2}$ は、それぞれ、第1のロボット101aのベース座標系102aの原点0r1から特徴点302a, 302bまでの位置ベクトル（ベース座標系102a）であり、上述した測定プロセスで直接得られるデータである。

【0028】

式(2)の両辺から式(1)の両辺を引くと次式が成り立つ。

【0029】

$${}^cR_{r1} \cdot {}^1P_{t1_a} = w_{t1_a} (ua, va, f)^T \quad (3)$$

【0030】

ただし、式(3)において、

【0031】

$${}^1P_{t1_a} = {}^1P_{t1_a2} - {}^1P_{t1_a1} \quad (4)$$

【0032】

10

20

30

40

50

$$W_{t1_a} = W_{t1_a2} - W_{t1_a1} \quad (5)$$

【0033】

である。また、式(3)には、つぎの拘束条件がつく。

【0034】

$$|{}^{r1} P_{t1_a}| = |W_{t1_a}| \sqrt{u_a^2 + v_a^2 + f^2} \quad (6)$$

【0035】

第2のロボット101bについても、同様にして次式が成り立つ。

【0036】

$${}^c R_{r2} \cdot {}^{r2} P_{t2_a} = W_{t2_a} (u_a, v_a, f)^T \quad (7)$$

【0037】

$$|{}^{r2} P_{t2_a}| = |W_{t2_a}| \sqrt{u_a^2 + v_a^2 + f^2} \quad (8)$$

【0038】

なお、 ${}^{r2} P_{t2_a}$ を求めるために測定される位置ベクトル ${}^{r2} P_{t2_a1}$ および ${}^{r2} P_{t2_a2}$ は、第1のロボット101aに対して測定された特徴点302a, 302bの位置ベクトル ${}^{r1} P_{t1_a1}$ および ${}^{r1} P_{t1_a2}$ に一致していなくても良い。

式(3)(7)より、 $(u_a, v_a, f)^T$ を消去し、かつ式(6)(8)の拘束を利用して次式を得る。

【0039】

$${}^{r1} R_{r2} \cdot {}^{r2} P_{t2_a} = (W_{t2_a} / W_{t1_a}) {}^{r1} P_{t1_a} \quad (9)$$

【0040】

$$|W_{t2_a}| / |W_{t1_a}| = |{}^{r2} P_{t2_a}| / |{}^{r1} P_{t1_a}| \quad (10)$$

【0041】

ここで、 W_{t2_a} と W_{t1_a} の符号は、直線301においてロボットのTCPを撮像装置に対して手前に動かしたか、奥に動かしたかによって(スケールファクタの大小が決まるので)判断できる。よって、式(9)右辺の (W_{t2_a} / W_{t1_a}) は、式(10)とそれぞれの符号から計算できる。

カメラ座標系203の原点0cと前記第2および第3の基準点を結ぶ各直線上についても同様にして、式(9)(10)に該当する式を導出することによって、つぎの連立方程式が得られる。

【0042】

$${}^{r1} R_{r2} \cdot \begin{pmatrix} {}^{r2} P_{t2_a}, & {}^{r2} P_{t2_b}, & {}^{r2} P_{t2_c} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} {}^{r1} P_{t1_a}, & {}^{r1} P_{t1_b}, & {}^{r1} P_{t1_c} \end{pmatrix} \quad (11)$$

【0043】

ただし、係数 $\lambda_a, \lambda_b, \lambda_c$ は

$$\lambda_a = W_{t2_a} / W_{t1_a} \quad (12a)$$

$$\lambda_b = W_{t2_b} / W_{t1_b} \quad (12b)$$

$$\lambda_c = W_{t2_c} / W_{t1_c} \quad (12c)$$

である。

【0044】

式(11)の両辺に、右から $({}^{r2} P_{t2_a}, {}^{r2} P_{t2_b}, {}^{r2} P_{t2_c})$ の逆行列をかける(連立方程式を解く)ことによって、第1のロボット101aのベース座標系102aと第2のロボット101bのベース座標系102b間の姿勢を表す回転行列 ${}^{r1} R_{r2}$ が計算できる。 $({}^{r2} P_{t2_a}, {}^{r2} P_{t2_b}, {}^{r2} P_{t2_c})$ の逆行列は、各直線(基準点)が独立であれば必ず存在する。また、計測を行う直線(基準点)の数を4本以上にして、連立方程式(11)を冗長にすることにより、測定誤差によるパラッキの最も小さい回転行列を求めることもできる(最小二乗法に等価)。

【0045】

つぎに、第1のロボット101aのベース座標系102aの原点0r1と第2のロボット

10

20

30

40

50

1 0 1 b のベース座標系 1 0 2 b の原点 0r2 間の位置ベクトルについて、その導出方法を説明する。

式(1)(2)の両辺に左から ${}^{r1}R_c$ をかけると次式が成り立つ。

【0046】

$${}^{r1}P_{0c0r1} + {}^{r1}P_{t1-a1} = w_{t1-a1} {}^{r1}R_c (ua, va, f)^T \quad (13)$$

【0047】

$${}^{r1}P_{0c0r1} + {}^{r1}P_{t1-a2} = w_{t1-a2} {}^{r1}R_c (ua, va, f)^T \quad (14)$$

【0048】

式(13)(14)より、 ${}^{r1}R_c (ua, va, f)^T$ を消去すると次式が成り立つ。

【0049】

$${}^{r1}P_{0c0r1} + {}^{r1}P_{t1-a1} = (w_{t1-a1} / w_{t1-a2}) ({}^{r1}P_{0c0r1} + {}^{r1}P_{t1-a2}) \quad (15)$$

5)

【0050】

式(15)は次式のように変形できる。

$${}^{r1}P_{0c0r1} = (w_{t1-a1} / w_{t1-a2}) / (1 - w_{t1-a1} / w_{t1-a2}) {}^{r1}P_{t1-a2} - 1 / (1 - w_{t1-a1} / w_{t1-a2}) {}^{r1}P_{t1-a1}$$

(16)

【0051】

ここで、 w_{t1-a1} / w_{t1-a2} はスケールファクタの比であるから、カメラ座標系 2 0 3 の原点 0c から特徴点 3 0 2 a (${}^{r1}P_{t1-a1}$ の終点) および 3 0 2 b (${}^{r1}P_{t1-a2}$ の終点) までの距離比に一致する。透視変換の幾何学から、撮像平面 2 0 1 上のイメージ 2 0 4 の面積は、カメラ座標系 2 0 3 の原点 0c から球状ターゲット 1 0 5 a の特徴点 (球の中心) までの距離の二乗に反比例する。したがって、以下の近似が成り立つ。

【0052】

$$w_{t1-a1} / w_{t1-a2} = \text{sqrt}(S_{t1-a2} / S_{t1-a1}) \quad (17)$$

【0053】

第2のロボット 1 0 1 b についても同様にして、次式が成り立つ。

【0054】

$${}^{r2}P_{0c0r2} = (w_{t2-a1} / w_{t2-a2}) / (1 - w_{t2-a1} / w_{t2-a2}) {}^{r2}P_{t2-a2} - 1 / (1 - w_{t2-a1} / w_{t2-a2}) {}^{r2}P_{t2-a1}$$

(18)

【0055】

$$w_{t2-a1} / w_{t2-a2} = \text{sqrt}(S_{t2-a2} / S_{t2-a1}) \quad (19)$$

【0056】

周囲の照明状態によっては、ターゲットイメージの面積を正確に測定できなくなる場合がある。そのような場合には、ターゲットを直接あるいは間接的に発光させ、周囲の照明状態に依存せずに面積が測定できるようにすればよい。このとき、ある特定の波長の光で発光させ、撮像装置の方でその波長の光以外をフィルタリングするようにすれば一層効果的である。

結局、式(16)(18)で計算される位置ベクトル ${}^{r1}P_{0c0r1}$ と ${}^{r2}P_{0c0r2}$ 、および回転行列 ${}^{r1}R_{r2}$ から、第1のロボット 1 0 1 a のベース座標系 1 0 2 a の原点 0r1 と第2のロボット 1 0 1 b のベース座標系 1 0 2 b の原点 0r2 間の位置ベクトルは、次式により計算される。

【0057】

$${}^{r1}P_{0r10r2} = {}^{r1}R_{r2} \cdot {}^{r2}P_{0c0r2} - {}^{r1}P_{0c0r1} \quad (20)$$

【0058】

また、前記第2の基準点、第3の基準点に対しても同様の手順で ${}^{r1}P_{0r10r2}$ を求め、それらの平均 (重心) を最終的な位置ベクトルとしても良い。

また、奥行き方向に球状ターゲット 1 0 5 a を移動させたときのイメージ 2 0 4 の面積変化を測定してターゲットまでの距離比 (スケールファクタの比) を求める (式(17)(19)) 代わりに、撮像装置 1 0 6 にズームレンズを取り付け、イメージ 2 0 4 の面積が一定と

10

20

30

40

50

なるようにズームレンズを移動させ、その移動量からターゲットまでの距離比を求めても良い。

また、撮像平面上でターゲットイメージの面積を測定する代わりに、ターゲットイメージの明るさ（光量）を測定することによって、式(17)(19)の距離比を推定しても良い。

【0059】

図5は本発明の第1実施例の変形例を示すロボットの説明図である。この変形例は第1のロボット101aのツール先端に大小2個の球状ターゲット105aを取り付けたことを特徴とするものである。球状ターゲットの大きさを変える代わりに、ターゲットの発光の明るさを異ならせても良い。

図5に示すようにロボットのツール部分に大きさ（あるいは明るさ）の異なる複数のターゲット物体を取りつけると、撮像装置106からの距離が遠くなるほど大きい（明るい）ターゲットに切り替えることによって、距離比の推定精度を高めることができる。ただし、式(17)(19)によって距離比を計算する際に、ターゲットの大きさ（明るさ）の相違を考慮する必要がある。例えば、式(17)の S_{t1_a2} を測定するときに、 S_{t1_a1} を測定するときに使用したターゲットのk倍の大きさのターゲットを使用したとすると、次式によって距離比を推定する。

【0060】

$$W_{t1_a1} / W_{t1_a2} = \sqrt{S_{t1_a2} / k^2 \times S_{t1_a1}} \quad (21)$$

【0061】

以上説明したように、第1実施例によれば、カメラ1台の撮像平面の基準点にロボットツールの特徴点が一致するようにロボットを動かすことによって特徴点を直線上に拘束することができる。また、撮像平面上でのターゲットの面積比（明るさの比）を測定することによってターゲットまでの距離比を推定することができるので、低コストでロボットツールの先端同士を突き合わせることなくロボット間の相対位置関係を計測できるのである。また、カメラパラメータを同定することなく、ロボット間の相対位置関係を計測できるのである。ターゲット物体を発光させることによってターゲット面積を周囲の照明状態に依存せずに測定でき、さらに、撮像装置からの距離が遠くなるほど大きい（明るい）ターゲットに切り替えることによって距離比の推定精度を高めることができるので、精度よくロボット間の相対位置関係を計測できるのである。

【実施例2】

【0062】

図6は、本発明の第2実施例を示す相対位置計測装置の構成図である。図において、501はレーザ距離センサのレーザ発振装置である。502はレーザ発振装置の支持部であり、2自由度（パンとチルト）の回転機構を有する。503はレーザ距離センサの距離演算部である。なお、第1実施例と共通する構成要素には同一の符号を付したので説明を省略する。

前述した第1実施例では、カメラの撮像平面201においてイメージ204の重心205を撮像平面上の基準点206に一致させることによって、ターゲットの特徴点を直線上に拘束している。それに対して、第2実施例では、レーザ発振装置501から発振されるレーザ光線を利用して、ターゲットの特徴点を直線上に拘束する。すなわち、直進するレーザ光線そのものを、ターゲットの特徴点を拘束すべき直線とするものである。

第2実施例では、カメラ（撮像装置106）でロボットツール先端の球状ターゲットの近傍を撮影し、画像表示装置108に提示される撮像平面を目視しながらターゲットイメージの重心とレーザ光スポットが一致するように、作業者は操作インターフェイス104a, 104bを利用してロボットのターゲットを移動させる（実施例1と同様にしてこの処理を自動化しても良い）。このようにすることによって、ターゲットの特徴点（球の中心）を直線（レーザ光線）上に拘束できる。

【0063】

図6では、撮像装置106（カメラ）とレーザ発振装置501を別々に設置しているが、両者をジグで一体化させても良い。図7は撮像装置とレーザ発振装置を一体にまとめた

10

20

30

40

50

装置の説明図である。この装置は撮像装置 106 の光軸とレーザ発振装置 501 のレーザ光軸が平行になるように、上下に重ねて支持部 502 に固定することによって、ロボットツール先端の球状ターゲットへのレーザ光照射が容易にできる。すなわち、カメラのズームを調節しながら、撮像平面 201 の中心付近にターゲットが映し出されるようにロボットを移動させればよい。なお、図中の 601 は撮像平面 201 上のレーザ光の画像である。

【0064】

第 2 実施例においても、第 1 実施例と同様に、ある直線上の 2 点において、ロボット座標系原点から球状ターゲットの特徴点までの位置ベクトルをロボットの境界センサにより測定する。同時にレーザ距離センサの距離演算部 503 により、直線に沿った特徴点までの距離を測定する（第 1 の実施例では、直接距離は測定せず、距離と相関を持つターゲットイメージの面積を測定した）。

3 本以上の直線に対して、各ロボットについて、同様にして位置ベクトルと距離を測定する。直線の向きを変更するには、支持部 502 のパン軸とチルト軸を回転させればよい。

【0065】

以上の測定データからロボット間の相対位置関係を導出する原理は、第 1 の実施例とほとんど同じであるが、媒介パラメータの記述が若干異なる。

3 本の直線を直線 A, B, C と表し、直線 A 上に拘束されたロボット 1 のターゲット特徴点までの位置ベクトルを同様に ${}^1P_{t1_a1}$ および ${}^1P_{t1_a2}$ と表す。ここで、直線 A の（単位）方向ベクトルを L_a 、レーザ距離センサで測定した ${}^1P_{t1_a1}$ の終点および ${}^1P_{t1_a2}$ の終点までの距離をそれぞれ d_{t1_a1} 、 d_{t1_a2} と表すと、式 (1) ~ (21) の所々で記述されている $(u_a, v_a, f)^T$ を L_a に、 w_{t1_a1} を d_{t1_a1} に、 w_{t1_a2} を d_{t1_a2} に置き換えて同様に相対位置を導出すればよい。ただし、第 2 実施例では、式 (6)(8)(10)(17)(19)(21) は不要になる。なぜなら、 w_{t1_a1} や w_{t1_a2} と異なり、 d_{t1_a1} や d_{t1_a2} はレーザ距離センサで直接正確に測定可能な物理量であるからである。

【0066】

以上説明したように、第 2 実施例によれば、レーザ距離センサのレーザ光線がロボットツールの特徴点に照射されるようにロボットを動かすことによって特徴点を直線上に拘束することができ、また、レーザ距離センサを利用して直接ターゲットまでの距離を正確に測定することができるので、ロボットツールの先端同士を突き合わせることなくロボット間の相対位置関係を正確に計測できるのである。

【実施例 3】

【0067】

図 8 は、本発明の第 3 実施例を示す相対位置計測装置の構成図である。図において、701 は棒状ジグであり、その表面には距離目盛がつけられている。702 a および 702 b は棒状ジグ 701 の支持部である。支持部 702 a, 702 b には、直動ジョイント 703 a, 703 b およびユニバーサルジョイント 704 a, 704 b が付けられており、棒状ジグ 701 の方向を自由に変更して、任意の方向に固定できる。

この第 3 実施例では、ロボットツールとして球状ターゲットではなく、針状ツール 705 a, 705 b を取り付ける。そして、針状ツール 705 a, 705 b の先端を棒状ジグ 701 上に拘束する（突き合わせる）ことによって、ロボットツールの特徴点（先端）を直線上に拘束し、そのときのツール先端位置ベクトルをロボットの境界センサにより計測する。また、針状ツール 705 a, 705 b の先端を棒状ジグ 701 上に拘束した状態で距離目盛を読み取ることにより、棒状ジグ 701 の端点からの距離を測定する。

3 本以上の直線（棒状ジグの配置を変える）に対して、各ロボットについて、同様にして位置ベクトルと距離を測定する。また、測定したデータからロボット間相対位置を導出する原理は、第 2 実施例で説明した通りである。

以上説明したように、第 3 実施例では、細長い棒状ジグ 701 を利用してロボットツールの特徴点を直線上に拘束するので、ロボットツールの先端同士を突き合わせることなく

10

20

30

40

50

、高価な装置を使用しなくてもロボット間の相対位置関係を手軽に計測できるのである。

【実施例 4】

【0068】

図 9 は、本発明の第 4 実施例の相対位置計測方式の原理を示している。同図において、901 は第 1 のロボット 101 a のツール先端に取り付けられたマーカ（目印）である。実施例 1 および実施例 2 では、ロボットのツール先端に球状ターゲット（105 a, 105 b）を取り付けたが、実施例 4 におけるマーカ 901 は球状ターゲットほどの大きさを必要としない。蛍光塗料が塗られた反射型マーカ、LED マーカ、赤外線マーカなどを使用する。実施例 4 において相対位置計測に用いる装置の構成は、マーカ以外は図 1 と同じである（図 1 の装置構成において球状ターゲットをマーカに置き換える）。

10

図 9 において、902 はロボット 101 a のベース座標系 102 a の原点 $0r_1$ 、903 はカメラ座標系 203 の原点 $0c$ である。904 a, 904 b はロボット 101 a に対して設定された平行な 2 つの平面であり、それぞれ平面 G, 平面 H と表す。206 は、撮像平面 201 上に 3 つ以上設定した基準点であり、それらを l_1, l_2, \dots, l_N と表す（N は 3 以上の整数）。301 は、カメラ座標原点 $0c$ と基準点 l_1, l_2, \dots, l_N を通る直線であり、それぞれ直線 1, 直線 2 ... 直線 N と表す。905 は、直線 1, 直線 2 ... 直線 N と平面 G との交点であり、それぞれ G_1, G_2, \dots, G_N と表す。906 は、直線 1, 直線 2 ... 直線 N と平面 H との交点であり、それぞれ H_1, H_2, \dots, H_N と表す。907 は撮像平面 201 に写ったマーカ 901 のイメージ（像）である。

【0069】

20

ここで、マーカ 901 の中心を特徴点とし、特徴点を平面 G に拘束する制御をロボット 101 a に施して、特徴点が平面 G 上で動作するようにする。この状態（特徴点を平面 G に拘束した状態）で、撮像平面 201 において、マーカイメージ 907 の重心が基準点 l_1 に一致するようにロボット 101 a を操作することによって、特徴点を交点 G_1 に位置決めすることができる。特徴点を交点 G_1 に位置決めした後、ロボット座標原点 $0r_1$ （902）から交点 G_1 （特徴点）までの位置ベクトル 908 を、ロボット 101 a の内界センサ（各軸のエンコーダなど）値からロボット座標値（ベース座標系 102 a の座標値）として計測する。同様にして、特徴点を交点 G_2, \dots, G_N に位置決めし、各交点（特徴点）までの位置ベクトルを計測する。このようにして測定した交点 G_1, G_2, \dots, G_N までの位置ベクトルを ${}^1P_{g_1}, {}^1P_{g_2}, \dots, {}^1P_{g_N}$ と表す。

30

【0070】

つぎに、ロボット 101 a の特徴点（マーカの中心）を平面 H に拘束した状態で、同様にして、マーカイメージ 907 の重心が l_1, l_2, \dots, l_N に一致するようにロボット 101 a を操作して特徴点を平面 H 上の交点 H_1, H_2, \dots, H_N に位置決めし、ロボット座標原点 $0r_1$ から各交点（特徴点）までの位置ベクトル 909 を測定する。このようにして測定した交点 H_1, H_2, \dots, H_N までの位置ベクトルを ${}^1P_{h_1}, {}^1P_{h_2}, \dots, {}^1P_{h_N}$ と表す。

撮像平面 201 において、マーカイメージ 907 の重心を基準点 206 に一致させるロボットの操作は、実施例 1 で説明したように画像ベースの視覚サーボ技術（非特許文献 2 の第 6 章参照）を適用して自動化することもできる。

40

また、位置ベクトルの測定順序は上記によらず任意に変更して構わない。さらには、ロボットの特徴点を直線 301 に拘束させた状態で、特徴点が各平面上に乗るようにロボットを動かしても良い。

以上が第 1 のロボット 101 a に対して行う測定処理である。

【0071】

つぎに、第 2 のロボット 101 b のツール先端にも同様のマーカ（901）を取り付ける。また、ロボット 101 b に対しても 2 つの平行な平面を設定する。それらを平面 S と平面 T と表す。ここで、平面 S（平面 T）は平面 G（平面 H）と同じである必要はない（同じか異なるかについては拘らない）。直線 1, 直線 2 ... 直線 N と平面 S との交点をそれぞれ S_1, S_2, \dots, S_N と表し、直線 1, 直線 2 ... 直線 N と平面 T との交点をそれぞれ $T_1, T_2,$

50

..., T_N と表す。

ロボット101aの測定処理で使用した同一の基準点 l_1, l_2, \dots, l_N を使って、ロボット101bに対しても同様の測定処理を行う。すなわち、ロボット101bのマーカ中心(特徴点)を平面S(平面T)に拘束した状態で、撮像平面201においてマーカイメージ907の重心が各基準点 l_1, l_2, \dots, l_N に一致するようにロボット101bを操作することによって、その特徴点を各交点 S_1, S_2, \dots, S_N (交点 T_1, T_2, \dots, T_N)に位置決めし、各交点までのベース座標系102bを基準にした位置ベクトル ${}^2P_{s_1}, {}^2P_{s_2}, \dots, {}^2P_{s_N}$ (${}^2P_{t_1}, {}^2P_{t_2}, \dots, {}^2P_{t_N}$)を測定する。

【0072】

つぎに、上述した測定データに基づいて第1のロボット101aと第2のロボット101b間の相対位置を求める手順を説明する。 10

まず、ベース座標102aとベース座標102b間の回転行列 ${}^1R_{r_2}$ を求める。

ここで、直線kの方向ベクトルを n_k と表す($k=1, 2, \dots, N$)。ただし、カメラ座標原点Ocからマーカ901に向かう方向を正とする。図9を見れば分かるように、直線kと平面Gおよび平面Hの交点 G_k, H_k までの位置ベクトル ${}^1P_{g_k}$ と ${}^1P_{h_k}$ の差をとって正規化することによって、ロボット101aのベース座標102aを基準にした方向ベクトル 1n_k を計算することができる。すなわち、

【0073】

$${}^1n_k = (G, H) \cdot ({}^1P_{g_k} - {}^1P_{h_k}) / |{}^1P_{g_k} - {}^1P_{h_k}| \quad (22)$$

(k=1, 2, ..., N) 20

【0074】

である。ここで、(G, H)は平面Gと平面Hの位置関係によって定まる符号係数(1または-1)である。

式(22)の方向ベクトルと、カメラ座標系203を基準にした方向ベクトル ${}^c n_k$ はつぎのように関係付けられる。

【0075】

$${}^1R_c \cdot {}^c n_k = {}^1n_k, \quad (k=1, 2, \dots, N) \quad (23)$$

【0076】

ロボット101bについても、同様につぎの式が成り立つ。

【0077】

$${}^2n_k = (S, T) \cdot ({}^2P_{s_k} - {}^2P_{t_k}) / |{}^2P_{s_k} - {}^2P_{t_k}| \quad (24)$$

$${}^2R_c \cdot {}^c n_k = {}^2n_k, \quad (k=1, 2, \dots, N) \quad (25)$$

【0078】

いま、カメラパラメータは未知なので(カメラ座標系203に対する撮像平面201の位置関係が分からないので)、方向ベクトル ${}^c n_k$ の値(座標値)は分からないが、式(23)(25)から ${}^c n_k$ を消去すれば、つぎのようなロボット101aとロボット101b間の直接の関係式が導出される。

【0079】

$${}^1R_{r_2} \cdot {}^2n_k = {}^1n_k, \quad (k=1, 2, \dots, N) \quad (26)$$

【0080】

式(26)の連立方程式を解くことによって、回転行列 ${}^1R_{r_2}$ が求まる。位置ベクトルの測定誤差のない理想的な状態では、 $N=3$ (つまり基準点が3個、直線が3本)であれば十分であるが、実際には測定誤差が含まれるので、 N を3以上に増やして計算結果のバラツキ(標準偏差)を小さく抑える。

【0081】

つぎに、ベース座標102aとベース座標102b間の位置ベクトル ${}^1Po_{r_1o_{r_2}}$ を求める。

図9において、平面Gと平面Hは平行であるから、線分 G_1G_2 と線分 H_1H_2 も平行である。したがって、三角形 $0cG_1G_2$ と三角形 $0cH_1H_2$ は相似になり、

【0082】

10

20

30

40

50

$$G_1 G_2 : H_1 H_2 = OcG_1 : OcH_1 \quad (27)$$

【 0 0 8 3 】

が成り立つ。さらには、平面G上の交点 G_1, G_2, \dots, G_N から任意に2つ選び出した交点 G_i, G_j と、対応する平面H上の交点 H_i, H_j に対して、

【 0 0 8 4 】

$$G_i G_j : H_i H_j = OcG_k : OcH_k \quad (28)$$

$$OcG_k / OcH_k = \text{const.} \quad (G_i G_j / H_i H_j = \text{const.}) \quad (29)$$

$$(i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, N, i \neq j, k=1, 2, \dots, N)$$

【 0 0 8 5 】

が成り立つ。 OcG_k / OcH_k を L_g / L_h とおき、測定した位置ベクトルからつぎのように平均値を求める。

【 0 0 8 6 】

【 数 1 】

$$\begin{aligned} L_g / L_h &\equiv OcG_k / OcH_k \\ &= \frac{1}{N C_2} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{|{}^{r1}P_{g-i} - {}^{r1}P_{g-j}|}{|{}^{r1}P_{h-i} - {}^{r1}P_{h-j}|} \end{aligned} \quad (30)$$

【 0 0 8 7 】

ここで $N C_2$ はN個の交点から2個を選び出す場合の組み合わせである。

【 0 0 8 8 】

カメラ座標原点 Oc から交点 G_k および交点 H_k までの距離比が式(30)により求まるので、この比と位置ベクトル ${}^{r1}P_{g-k}$ および ${}^{r1}P_{h-k}$ を用いると、外分点を求める要領で、ロボット座標原点 Or_1 からカメラ座標原点 Oc までの位置ベクトル ${}^{r1}Po_{r_1}Oc$ (図9の910)をつぎのように求めることができる。

【 0 0 8 9 】

$${}^{r1}Po_{r_1}Oc = (-L_h) / (L_g - L_h) \cdot {}^{r1}P_{g-k} + L_g / (L_g - L_h) \cdot {}^{r1}P_{h-k} \quad (31)$$

$$(k=1, 2, \dots, N)$$

【 0 0 9 0 】

位置ベクトルには測定誤差が含まれるので、式(31)をもとにつぎのように平均値を求めればよい。

【 0 0 9 1 】

【 数 2 】

$$\begin{aligned} &{}^{r1}Po_{r_1}Oc \\ &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left\{ \frac{-1}{L_g / L_h - 1} \cdot {}^{r1}P_{g-k} + \frac{L_g / L_h}{L_g / L_h - 1} \cdot {}^{r1}P_{h-k} \right\} \end{aligned} \quad (32)$$

【 0 0 9 2 】

結局、位置ベクトルの測定値をもとに、式(30)(32)から ${}^{r1}Po_{r_1}Oc$ が求まる。

【 0 0 9 3 】

つぎに、第2のロボット101bに対しても、全く同様にして、ベース座標系102bの原点 Or_2 からカメラ座標系203の原点 Oc までの位置ベクトル ${}^{r2}Po_{r_2}Oc$ をつぎのように求める。

【 0 0 9 4 】

20

30

40

【数 3】

$$L_s/L_t \equiv OcS_k/OcT_k$$

$$= \frac{1}{N C_2} \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{|r^2 P_{s-i} - r^2 P_{s-j}|}{|r^2 P_{t-i} - r^2 P_{t-j}|} \quad (33)$$

$$r^2 P_{O_r2 O_c}$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left\{ \frac{-1}{L_s/L_t - 1} \cdot r^2 P_{s-k} + \frac{L_s/L_t}{L_s/L_t - 1} \cdot r^2 P_{t-k} \right\} \quad (34) \quad 10$$

【0095】

以上より、実施例 1 と同様にして、次式により位置ベクトル^{r1} P_{O_{r1}O_{r2} が求まる。}

【0096】

$$\begin{aligned} {}^{r1} P_{O_{r1}O_{r2}} &= {}^{r1} R_{r2} \cdot {}^{r2} P_{O_c O_{r2}} - {}^{r1} P_{O_c O_{r1}} \\ &= - {}^{r1} R_{r2} \cdot {}^{r2} P_{O_{r2} O_c} + {}^{r1} P_{O_{r1} O_c} \end{aligned} \quad (35) \quad 20$$

【0097】

また、式(22)(24)における (G,H)と (S,T)は、L_g /L_h とL_s /L_t を用いてつぎのように計算できる。

【0098】

$$(G,H) = \text{sgn}(L_g / L_h - 1) \quad (36)$$

$$(S,T) = \text{sgn}(L_s / L_t - 1) \quad (37)$$

【0099】

ここでsgn(x)は符号関数であり、x ≥ 0のとき 1、x < 0のとき -1である。

【0100】

以上説明したように、第 4 実施例によれば、ロボットツールの特徴点を 2 つの平行な平面上で動作させ、かつ、カメラ 1 台の撮像平面の各基準点に特徴点が一致するようにロボットを動かすことによって、基準点を通る各直線と各平面との交点に特徴点を位置決めし、各交点における特徴点のロボット座標値を測定するので、撮像平面でのターゲットイメージの大きさや明るさを計測することなく、カメラ 1 台のみで奥行き方向の距離情報を正確に得ることができる。したがって、低コストでロボットツールの先端同士を突き合わせることなく、ロボット間の相対位置関係をより正確に計測できるのである。また、カメラパラメータを同定することなく、ロボット間の相対位置関係を手軽に計測できるのである。

【産業上の利用可能性】

【0101】

本発明は、複数台のロボットが協調して作業する際に、ロボット間の相対位置関係を計測する方法として有用である。 40

【図面の簡単な説明】

【0102】

【図 1】本発明の第 1 実施例を示す相対位置計測装置の構成図である。

【図 2】本発明の第 1 実施例を示す画像表示の説明図である。

【図 3】本発明の第 1 実施例を示す画像表示の説明図である。

【図 4】本発明の第 1 実施例を示す画像表示の説明図である。

【図 5】本発明の第 1 実施例の変形例を示すロボットの説明図である。

【図 6】本発明の第 2 実施例を示す相対位置計測装置の構成図である。

【図 7】本発明の第 2 実施例で用いる撮像装置とレーザ発振装置を一体化した装置の説明 50

図である。

【図8】本発明の第3実施例を示す相対位置計測装置の構成図である。

【図9】本発明の第4実施例における計測原理の説明図である。

【符号の説明】

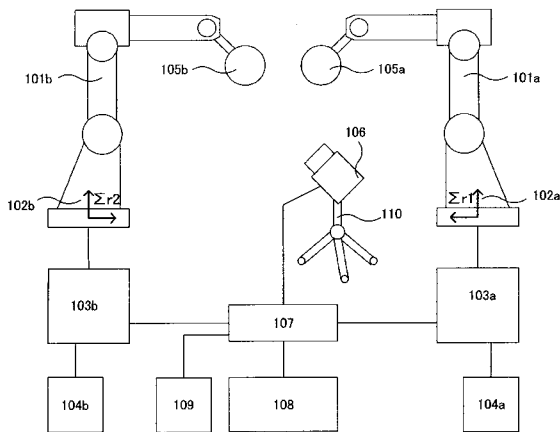
【0103】

101a 第1のロボット、101b 第2のロボット、102a, 102b ベース座標系、103a, 103b 制御装置、104a, 104b 操作インターフェイス、105a, 105b 球状ターゲット、106 撮像装置、107 画像処理装置、108 画像表示装置、109 相対位置演算装置、110 支持部、201 撮像平面、202 撮像平面の座標系、203 カメラ座標系、204 球状ターゲットのイメージ、205 球状ターゲットのイメージの重心、206 基準点、301 直線、302a, 302b 球状ターゲットの特徴点(球の中心)の位置、303a, 303b ロボット座標系原点から球状ターゲットの特徴点までの位置ベクトル、501 レーザ発振装置、502 支持部、503 距離計測装置、601 ターゲットに照射されたレーザ光線のスポット、701 棒状ジグ、702a, 702b 棒状ジグの支持部、703a, 703b 直動ジョイント、704a, 704b ユニバーサルジョイント、705a, 705b 針状ツール、901 マーカ、902 ベース座標系102aの原点、903 カメラ座標系203の原点、904a 平面G、904b 平面H、905 平面Gと直線301の交点、906 平面Hと直線301の交点、907 マーカのイメージ、908 ロボット座標原点902から交点905までの位置ベクトル、909 ロボット座標原点902から交点906までの位置ベクトル、910 ロボット座標原点902からカメラ座標原点903までの位置ベクトル

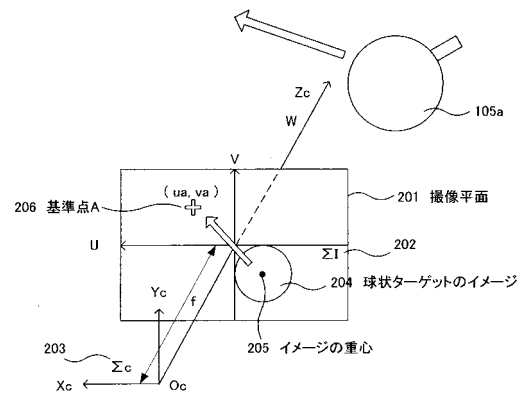
10

20

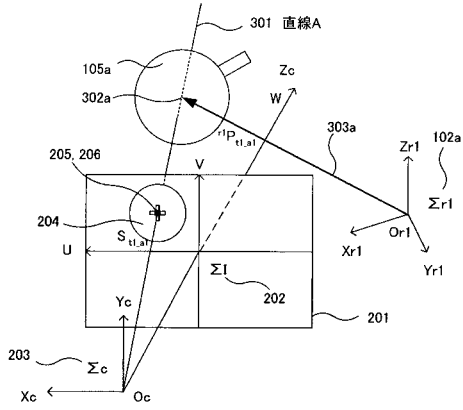
【図1】



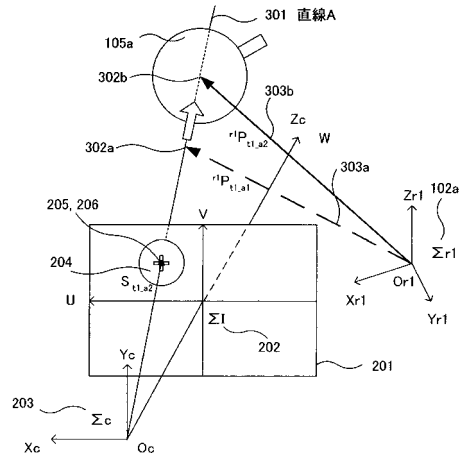
【図2】



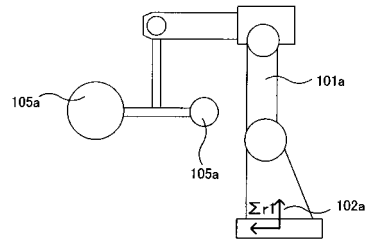
【 図 3 】



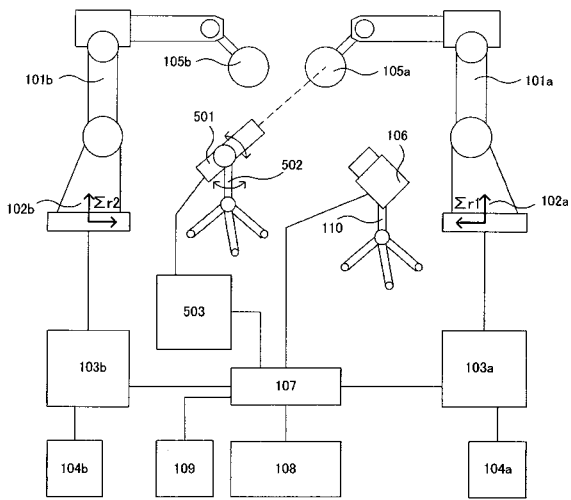
【 図 4 】



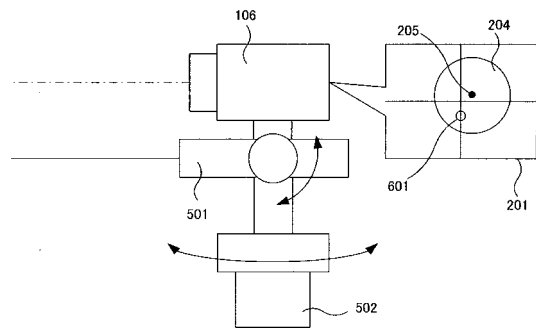
【 図 5 】



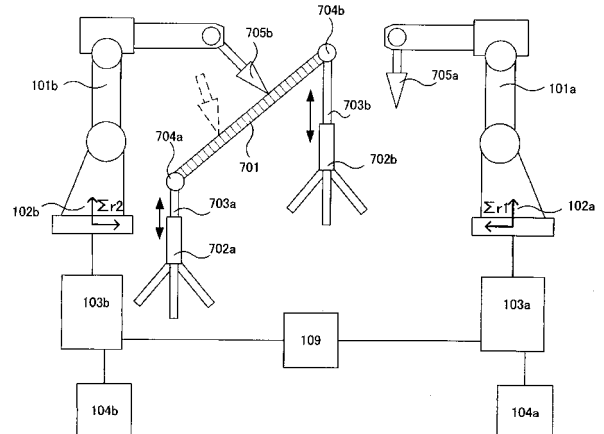
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

