

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6188440号  
(P6188440)

(45) 発行日 平成29年8月30日(2017.8.30)

(24) 登録日 平成29年8月10日(2017.8.10)

(51) Int.Cl.

F I

B 2 5 J 13/08 (2006.01)

B 2 5 J 13/08

A

請求項の数 10 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2013-126680 (P2013-126680)  
 (22) 出願日 平成25年6月17日(2013.6.17)  
 (65) 公開番号 特開2015-454 (P2015-454A)  
 (43) 公開日 平成27年1月5日(2015.1.5)  
 審査請求日 平成28年6月7日(2016.6.7)

(73) 特許権者 000001007  
 キヤノン株式会社  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
 (74) 代理人 100082337  
 弁理士 近島 一夫  
 (74) 代理人 100141508  
 弁理士 大田 隆史  
 (72) 発明者 林 禎  
 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 中田 善邦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボット装置及びロボット制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ロボット本体と、

前記ロボット本体に取り付けられ、対象物を撮影するカメラと、

予め設定された教示点までの軌道に基づいて、前記対象物に向けて前記カメラが前記カメラの光軸に沿って直線移動するように前記ロボット本体を駆動させると共に、前記カメラが直線移動している間に前記カメラで前記対象物を撮影し、撮影した画像から前記対象物の位置を計測する制御装置と、を備えた、

ことを特徴とするロボット装置。

【請求項2】

前記制御装置は、前記カメラが前記対象物を撮影可能な領域に到達すると、前記教示点が前記カメラの光軸上に位置するように前記ロボット本体を駆動する、

ことを特徴とする請求項1に記載のロボット装置。

【請求項3】

前記ロボット本体は、ロボットアームと、前記ロボットアームの先端に取り付けられ、所定の作業を行うエンドエフェクタと、を有し、

前記カメラは、前記エンドエフェクタの先端が写るように、前記エンドエフェクタに対して所定角度傾斜した状態で前記ロボットアーム又は前記エンドエフェクタに取り付けられている、

ことを特徴とする請求項1又は2に記載のロボット装置。

10

20

## 【請求項 4】

ロボット本体と、

前記ロボット本体に取り付けられ、対象物を撮影するステレオカメラと、

予め設定された教示点までの軌道に基づいて、前記対象物に向けて前記ステレオカメラが前記ステレオカメラの2つの焦点と前記予め設定された教示点とが通る平面から構成されるエピポーラ面に沿って直線移動するように前記ロボット本体を駆動すると共に、前記ステレオカメラが直線移動している間に前記ステレオカメラで前記対象物を撮影し、撮影した画像から前記対象物の3次元位置を計測する制御装置と、を備えた、

ことを特徴とするロボット装置。

## 【請求項 5】

前記制御装置は、計測した前記対象物の位置に基づいて、前記ロボット本体の前記軌道を修正する、

ことを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載のロボット装置。

## 【請求項 6】

制御部が、予め設定された教示点までの軌道に基づいてロボット本体を駆動している間に、前記ロボット本体に取り付けられたカメラが対象物を撮影可能な領域に到達すると、前記対象物に向けて前記カメラが前記カメラの光軸に沿って直線移動するように前記ロボット本体を駆動する直線移動制御工程と、

前記制御部が、前記カメラが直線移動している間に前記カメラで前記対象物を撮影しつつ、撮影した画像から前記対象物の位置を計測する対象物位置計測工程と、を備えた、

ことを特徴とするロボット制御方法。

## 【請求項 7】

制御部が、予め設定された教示点までの軌道に基づいてロボット本体を駆動している間に、前記ロボット本体に取り付けられたステレオカメラが対象物を撮影可能な領域に到達すると、前記対象物に向けて前記ステレオカメラが前記ステレオカメラの2つの焦点と前記教示点とを通る平面から構成されるエピポーラ面に沿って直線移動するように前記ロボット本体を駆動する直線移動制御工程と、

前記制御部が、前記ステレオカメラが直線移動している間に前記ステレオカメラで前記対象物を撮影しつつ、撮影した画像から前記対象物の3次元位置を計測する3次元位置計測工程と、を備えた、

ことを特徴とするロボット制御方法。

## 【請求項 8】

前記制御部が、計測した前記対象物の位置に基づいて、前記ロボット本体の前記軌道を修正する軌道修正工程と、を備えた、

ことを特徴とする請求項 6 又は 7 に記載のロボット制御方法。

## 【請求項 9】

請求項 6 乃至 8 のうちの何れか 1 項に記載の各工程をコンピュータに実行させるためのロボット制御プログラム。

## 【請求項 10】

請求項 9 に記載のロボット制御プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、カメラが取り付けられたロボットアームを有するロボット装置及びロボット制御方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

ロボット装置を使用してワークの把持や組み付け作業等を行う場合、ロボットアームの先端に取り付けられたカメラを用いてワークの位置や姿勢を計測し、計測した情報に基づ

10

20

30

40

50

いてワークの把持や組み付け等を行う場合がある（特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2000 - 288947 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、ロボットアームの手先にカメラを取り付けた場合、ロボットアームの可動中にカメラで部品等を撮影すると、画像のブレが発生して、部品等の正確な位置情報等を得ることができないという問題がある。そのため、正確な位置情報等を得るには、ロボットアームを一旦停止して部品等を撮影する必要があった。しかし、一般にロボットアームは慣性が大きいため、ロボットアームを一旦停止させて部品等を撮影するとなると、ロボットアームの減速、停止、撮影、再加速という作業サイクルに多大な時間を要することになる。その結果、作業速度が遅くなるという問題があった。

【0005】

そこで、本発明は、作業速度を損なうことなく、カメラで撮影した画像を用いて各種作業を実行可能なロボット装置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】

【0006】

本発明は、ロボット本体と、前記ロボット本体に取り付けられ、対象物を撮影するカメラと、予め設定された教示点までの軌道に基づいて、前記対象物に向けて前記カメラが前記カメラの光軸に沿って直線移動するように前記ロボット本体を駆動させると共に、前記カメラが直線移動している間に前記カメラで前記対象物を撮影し、撮影した画像から前記対象物の位置を計測する制御装置と、を備えたことを特徴とするロボット装置である。

【0007】

また、本発明は、ロボット本体と、前記ロボット本体に取り付けられ、対象物を撮影するステレオカメラと、予め設定された教示点までの軌道に基づいて、前記対象物に向けて前記ステレオカメラが前記ステレオカメラの 2 つの焦点と前記予め設定された教示点とが通る平面から構成されるエピポーラ面に沿って直線移動するように前記ロボット本体を駆動すると共に、前記ステレオカメラが直線移動している間に前記ステレオカメラで前記対象物を撮影し、撮影した画像から前記対象物の 3 次元位置を計測する制御装置と、を備えたことを特徴とするロボット装置である。

【0008】

また、本発明は、制御部が、予め設定された教示点までの軌道に基づいてロボット本体を駆動している間に、前記ロボット本体に取り付けられたカメラが対象物を撮影可能な領域に到達すると、前記対象物に向けて前記カメラが前記カメラの光軸に沿って直線移動するように前記ロボット本体を駆動する直線移動制御工程と、前記制御部が、前記カメラが直線移動している間に前記カメラで前記対象物を撮影しつつ、撮影した画像から前記対象物の位置を計測する対象物位置計測工程と、を備えたことを特徴とするロボット制御方法である。

【0009】

また、本発明は、制御部が、予め設定された教示点までの軌道に基づいてロボット本体を駆動している間に、前記ロボット本体に取り付けられたステレオカメラが対象物を撮影可能な領域に到達すると、前記対象物に向けて前記ステレオカメラが前記ステレオカメラの 2 つの焦点と前記教示点とを通る平面から構成されるエピポーラ面に沿って直線移動するように前記ロボット本体を駆動する直線移動制御工程と、前記制御部が、前記ステレオカメラが直線移動している間に前記ステレオカメラで前記対象物を撮影しつつ、撮影した画像から前記対象物の 3 次元位置を計測する 3 次元位置計測工程と、を備えたことを特徴とするロボット制御方法である。

10

20

30

40

50

## 【発明の効果】

## 【0010】

本発明によれば、作業速度を損なうことなく、カメラで撮影した画像を用いて各種作業を実行することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0011】

【図1】第1実施形態に係るロボット装置の全体構造を模式的に示す斜視図である。

【図2】第1実施形態に係る制御装置のブロック図である。

【図3】第1実施形態に係るエンドエフェクタ及びカメラの平行軌道を示す図である。

10

【図4】運動方向とブレ量を示す図である。

【図5】第2実施形態に係るエンドエフェクタ及びカメラの平行軌道を示す図である。

【図6】第3実施形態に係るエンドエフェクタとカメラを示す図である。

【図7】第3実施形態に係るエンドエフェクタ及びカメラの平行軌道を示す図である。

【図8】第4実施形態に係るロボット装置の全体構造を模式的に示す斜視図である。

【図9】第4実施形態に係るエンドエフェクタとステレオカメラとを示す図である。

【図10】ステレオカメラで撮影された画像を示す図である。

【図11】ステレオ計測時のブレの発生形態を説明する図である。

【図12】従来のエンドエフェクタ及びカメラの軌道を示す図である。

【図13】従来のエンドエフェクタ及びカメラの軌道を示す図である。

20

## 【発明を実施するための形態】

## 【0012】

## &lt;第1実施形態&gt;

以下、本発明の第1実施形態に係るロボット装置1について、図1から図4を参照しながら説明する。まず、第1実施形態に係るロボット装置1全体の概略構成について、図1及び図2を参照しながら説明する。

## 【0013】

図1に示すように、ロボット装置1は、ロボット本体6と、ロボット本体6に取り付けられたカメラ4と、ロボット本体6及びカメラ4を制御可能な制御装置5と、を備えている。ロボット本体6は、6軸多関節のロボットアーム2と、ロボットアーム2の手先に取り付けられたエンドエフェクタ3と、を備えている。

30

## 【0014】

ロボットアーム2は、エンドエフェクタ3及びカメラ4の位置姿勢を変えるのに必要な自由度を持っている。具体的には、ロボットアーム2は、各関節を各関節軸まわりにそれぞれ回転駆動する6つのアクチュエータを備えており、各アクチュエータのそれぞれを選択的に駆動することでエンドエフェクタ3及びカメラ4を任意の3次元位置に移動させる。エンドエフェクタ3は、ワーク（目標物）10の把持や組み付け等の作業を行うためのものである。本実施形態においては、エンドエフェクタとして、ワーク10の所定の位置に塗布剤や接着剤等を塗布する作業を行うディスペンサがロボットアーム2の手先に取り付けられている。

40

## 【0015】

なお、上述したロボットアーム2及びエンドエフェクタ3は、上記構成に限定されるものではない。例えば、ロボットアームは、水平多関節型やXYZ直交型であってもよく、これらに関節軸を追加して必要な自由度を確保した構成であってもよい。また、エンドエフェクタは、ドライバやグリッパ、放電加工装置であってもよい。更に、把持等の作業の必要性がない場合（例えば、文字認識や表面状態観測等）には、エンドエフェクタとしてカメラをロボットアーム2の手先に取り付けてもよい。

## 【0016】

カメラ4は、エンドエフェクタ3による作業をアシストするためのものであり、ワーク10の正確な位置や姿勢等の情報を取得するためにワーク10を撮影する。カメラ4は、

50

エンドエフェクタ 3 の近傍のロボットアーム 2 の手先に取り付けられており、ロボットアーム 2 の動作に伴ってエンドエフェクタ 3 と一体で位置姿勢を変える。なお、ここでいう近傍とは、ロボット本体 6 (ロボットアーム 2 及びエンドエフェクタ 3) と同じリンク上にあり、エンドエフェクタ 3 と同期して動くことができる位置であればよい。また、カメラ 4 は、エンドエフェクタ 3 に取り付けられていてもよい。

【0017】

図 2 に示すように、制御装置 (制御部) 5 は、画像処理装置 5 1 と、軌道生成装置 5 2 と、記憶装置 5 3 と、ロボットコントローラ 5 4 と、記録メディア読取装置 5 5 と、通信装置 5 6 と、を備えている。

【0018】

画像処理装置 5 1 は、カメラ 4 で撮影した画像を基に撮影時点でのカメラ 4 からのワーク 1 0 の相対的な位置を計測する。計測法については、パターンマッチングやエッジを抽出して重心や交点などの特徴点を求める方法などがあるが、本実施形態では特に限定されない。なお、カメラがエンドエフェクタの代わりにロボットアームの先端に取り付けられている場合には、画像処理装置 5 1 は、ラベルの文字認識、ワークの表面状態の観測やワークの有無等の状態を観測する。

【0019】

軌道生成装置 5 2 は、ワーク 1 0 に対して所定の作業を実行するための目標位置にエンドエフェクタ 3 を誘導するためのロボットアーム 2 の軌道を生成する装置である。具体的には、軌道生成装置 5 2 は、予め教示された教示点に基づいて、仮の目標位置までのロボットアーム 2 の軌道 (以下、「アプローチ軌道」という) を生成する。また、軌道生成装置 5 2 は、ワーク 1 0 の近傍でカメラ 4 がワーク 1 0 を撮影可能な領域に到達すると、カメラ 4 の光軸に沿って光軸と平行にカメラ 4 が直線移動するようにロボットアーム 2 の軌道 (以下、「平行軌道」という) を生成する。更に、軌道生成装置 5 2 は、目標位置が計測された後、仮の目標位置と計測された目標位置とがずれていた場合には計測された目標位置に基づいてアプローチ軌道を修正する。

【0020】

なお、教示点の教示は、公知のティーチングペンダント (不図示) やパーソナルコンピュータ (不図示) などの入力装置から行われる。また、通常、教示点は誤差を含んでいるため、真の目標位置からずれている場合がある。この場合、教示点を仮の目標位置として、必要に応じて画像処理装置 5 1 からの情報を基にして、カメラ 4 の移動方向がカメラ 4 の光軸と平行からずれた場合は平行軌道等を修正できるようになっている。

【0021】

記憶装置 5 3 には、アプローチ軌道や平行軌道を生成するための各種プログラムや画像処理装置 5 1 により計測されたワーク 1 0 の位置情報の処理結果、予めユーザによって教示された初期教示点等のデータが格納されている。なお、記憶装置 5 3 は、ユーザインターフェイスに表示することで代替したり、省略することも可能である。

【0022】

ロボットコントローラ 5 4 は、軌道生成装置 5 2 が生成するアプローチ軌道や平行軌道に沿ってエンドエフェクタ 3 及びカメラ 4 が移動するようにロボットアーム 2 を駆動制御する。その際、フィードバック制御が用いられ、ロボットアーム 2 の現在位置情報を取得している。また、ロボットコントローラ 5 4 は、軌道生成装置 5 2 が生成した平行軌道に基づいてロボットアーム 2 が駆動中にカメラ 4 を撮影制御すると共に、目標位置に移動したエンドエフェクタ 3 を駆動制御する。本実施形態においては、カメラ 4 の移動方向がカメラ 4 の光軸と平行に直線移動 (光軸に沿って移動) する平行軌道に乗った際にカメラ 4 に撮影指示を出すようになっている。なお、撮影指示は、カメラ 4 が平行軌道に乗った後であればいつでも可能であり、複数回の撮影を行う構成であってもよい。

【0023】

記録メディア読取装置 5 5 は、ロボット制御プログラム等の各種プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体 5 7 を読み込み、記録媒体 5 7 に記録されたプログ

10

20

30

40

50

ラムやデータ等を記憶装置 5 3 に格納させるため等に用いられる。通信装置 5 6 は、例えば、上述したような記録媒体 5 7 を使用せずに、通信装置 5 6 を介してインターネット等から配信される更新プログラム等をダウンロードする際に用いられる。

【 0 0 2 4 】

なお、上述した画像処理装置 5 1、軌道生成装置 5 2 及びロボットコントローラ 5 4 の実現手段は、マイクロコンピュータやゲートロジック、アナログ演算装置などを用いて実現することが可能であるが、上述の機能を満たせば特定の構成に限定されない。またハード的には 1 台のコンピュータで実現することも可能である。

【 0 0 2 5 】

次に、上述のように構成された制御装置 5 によるロボットアーム 2 の制御方法について、図 3 を参照しながら説明する。

10

【 0 0 2 6 】

まず、軌道生成装置 5 2 により、ユーザによって予め入力された教示点、若しくは記憶装置 5 3 に記憶された初期教示点に基づいて、エンドエフェクタ 3 を仮の目標位置に誘導するアプローチ軌道が生成される。本実施形態においては、記憶装置 5 3 に記憶された初期教示点 T P に基づいてアプローチ軌道が生成される。なお、アプローチ軌道の生成は、ユーザにより不図示の入力装置から入力される教示点に基づいて生成する構成であってもよい。

【 0 0 2 7 】

アプローチ軌道が生成されると、生成されたアプローチ軌道に沿ってエンドエフェクタ 3 及びカメラ 4 が移動するように、ロボットコントローラ 5 4 により、ロボットアーム 2 が駆動制御される。ロボットアーム 2 の駆動制御にはフィードバック制御が用いられ、ロボットアーム 2 の現在位置情報を取得しながら初期教示点 T P に向かって駆動制御される。

20

【 0 0 2 8 】

次に、カメラ 4 がワーク 1 0 を撮影可能な範囲に移動すると、軌道生成装置 5 2 により、カメラ 4 が光軸と平行にワーク 1 0 に向かって直線移動（図 3 に示す直線 1 c）するように、平行軌道が生成される。平行軌道が生成されると、生成された平行軌道に沿ってエンドエフェクタ 3 及びカメラ 4 が移動するように、ロボットコントローラ 5 4 により、ロボットアーム 2 が駆動制御される（直線移動制御工程）。なお、カメラ 4 が直線 1 c に沿って移動する際のエンドエフェクタ 3 の軌道は、直線 1 c と平行な直線 1 e のようになる。

30

【 0 0 2 9 】

次に、カメラ 4 が平行軌道に乗ると、ロボットコントローラ 5 4 は、カメラ 4 にトリガ信号を送信する。トリガ信号を受信すると、カメラ 4 は、光軸と平行にワーク 1 0 に向かって移動しながら初期教示点 T P 付近の撮影を行う。カメラ 4 で撮影された画像は、不図示の伝送ケーブル又は不図示の無線装置を伝って画像処理装置 5 1 に転送される。撮影が終わると、カメラ 4 は、露光（撮影）が終了したことを示すトリガ信号をロボットコントローラ 5 4 に送信する。

【 0 0 3 0 】

40

カメラ 4 からトリガ信号を受信すると、ロボットコントローラ 5 4 は、その時点でのロボットアーム 2 の位置データを記録し、軌道生成装置 5 2 へと転送する。なお、カメラ 4 からのトリガ信号の発信は、予めカメラの露光時間が分かっている場合には省略することができる。例えば、ロボットコントローラ 5 4 が有するタイマを使用して、露光終了時のロボットアーム 2 の位置データを記録すればよい。

【 0 0 3 1 】

撮影された画像を受信すると、画像処理装置 5 1 は、受信した画像に基づいて、撮影した時点でのカメラ 4 からの相対的な目標位置を計測し、計測したデータを軌道生成装置 5 2 に転送する。軌道生成装置 5 2 は、ロボットコントローラ 5 4 から転送されたロボットアーム 2 の位置データ及び軌道生成装置 5 2 から転送された計測データを受信すると、ロ

50

ボット座標に対する目標位置を計算する（ワーク位置計測工程）。この位置データと計測データとは同時刻のデータであり、ロボットアーム 2 の位置データからカメラ 4 のロボット座標に対する位置が決まるので、画像処理装置 5 1 からの計測データに加算することによってロボット座標に対する目標位置を計算することができる。

【 0 0 3 2 】

目標位置を計算すると、軌道生成装置 5 2 は、記憶装置 5 3 からロードされた初期教示点 T P に対して、上記計算で得たデータをもってアプローチ軌道を修正し、目標位置に対する新たな軌道を計算する（軌道修正工程）。軌道の計算方法としては種々の方法が可能であるが、一般的な軌道の計算方法であればよく、特に計算方法に限定されるものではない。例えば、エンドエフェクタ 3 と目標位置とを最短距離で結ぶ方法、ロボットアーム 2 の関節の駆動量をできるだけ少なくする方法及び特異点を避けるアルゴリズムを組み合わせる方法などを用いることができる。

10

【 0 0 3 3 】

なお、通常、画像処理や軌道計算には時間がかかるので、その間はアプローチ軌道を維持すればよい。また、アプローチ軌道の修正動作は、1 度のみ限定されず、可能な限り複数回繰り返すことも可能である。

【 0 0 3 4 】

計算された新たなアプローチ軌道は、軌道データとしてロボットコントローラ 5 4 に転送される。ロボットコントローラ 5 4 は、新たに生成されたアプローチ軌道に沿ってエンドエフェクタ 3 及びカメラ 4 が移動するように、ロボットアーム 2 を駆動制御する。また、これらの情報は、記憶装置 5 3 に転送され、ワーク 1 0 の計測情報として蓄積することができるようにになっている。

20

【 0 0 3 5 】

次に、上述のように生成された平行軌道でカメラ 4 を移動させた際の効果について、図 4 を参照しながら説明する。まず、エンドエフェクタでワークに対して何らかの作業を行うためにはエンドエフェクタを正確な目標位置に誘導する必要がある。通常、教示時と実作業時のワークの位置は誤差を含むため、カメラで撮影した情報を基に目標位置を修正することが必要とされる。以下、平行軌道でカメラ 4 を移動させた際の効果について具体的に説明する。

【 0 0 3 6 】

30

まず、カメラ 4 の撮像面上に光軸との交点を原点とした X 軸及び Y 軸、撮像面と直交する方向（光軸方向）を Z 軸としたカメラ座標系を設定する（図 1 参照）。撮影時 t のカメラの各軸方向の速度を、それぞれ  $V_x(t)$ 、 $V_y(t)$ 、 $V_z(t)$  とし、カメラ 4 とワーク 1 0 の距離を W、カメラ 4 の焦点距離を f、撮像面上での計測点の位置を x、y、露光時間を T とする。すると、各軸方向に対するカメラ 4 の運動（運動方向）によるブレ量は、図 4 に示すようになる。

【 0 0 3 7 】

以下、Z 軸方向の運動に対する X 軸方向のブレについて説明する。なお、Y 軸方向のブレに関しては、X 軸方向のブレと同じ形の式になり、x を y に置き換えれば成り立つため説明を省略する。Z 軸方向の運動に対するブレ量は、本来、

40

【 0 0 3 8 】

【数 1】

$$\frac{x \cdot f}{W^2 - W \int_0^T v_z(t) dt} \int_0^T v_x(t) dt$$

であるが、エンドエフェクタ 3 とワーク 1 0 とが衝突するおそれがあるため、撮影時に

【 0 0 3 9 】

【数 2】

$$W \gg \int_0^T v_z(t) dt$$

が成り立つように設定する必要がある。したがって、近似的には、図 4 に示す式

【0040】

【数 3】

$$\frac{x \cdot f}{W^2} \int_0^T v_x(t) dt$$

10

となる。

【0041】

ロボット本体 6 に搭載するカメラが大きい場合、ペイロードの増加や他の構造物との干渉を招くおそれがあるためカメラは小型に設計される。即ち、撮影距離に対してカメラのセンササイズは十分小さく設計され、 $x \ll W$ である。したがって、

【0042】

【数 4】

$$\frac{x \cdot f}{W^2} \ll \frac{f}{W}$$

20

となり、同じ速度で運動した場合、Z 軸方向に関してのみブレが小さくなる。

【0043】

例えば、カメラの焦点距離  $f = 20 \text{ mm}$ 、撮影距離  $W = 100 \text{ mm}$ 、各軸方向の運動速度  $V_x(t) = V_y(t) = V_z(t) = 50 \text{ mm/s}$ 、露光速度  $T = 10 \text{ msec}$ 、センサのピッチ  $2 \mu\text{m}$ 、撮像面上の計測位置  $x = 1 \text{ mm}$  とする。すると、X 軸方向の運動に対しては、撮像面上で中心から  $1 \text{ mm}$  の位置でのブレは  $0.1 \text{ mm}$ 、すなわち、50 画素分となり、影響が無視できなくなる。一方、Z 軸方向の運動に対しては、撮像面上でのブレは  $1 \mu\text{m}$ 、すなわち  $0.5$  画素分にすぎなく、影響がほとんどない。

30

【0044】

以上説明したように、第 1 実施形態に係るロボット装置 1 は、教示点に基づいて生成したアプローチ軌道にロボットアームを制御する際、カメラ 4 がワーク 10 に近づくと、ワーク 10 に向かってカメラ 4 が直線移動するようにロボットアーム 2 を駆動制御する。具体的には、カメラ 4 が光軸と平行に移動するようにロボットアーム 2 を駆動制御する。そして、カメラ 4 が光軸と平行に直線移動する間にカメラ 4 でワーク 10 を撮影する。そのため、ロボットアーム 2 を駆動中でもロボットアーム 2 に取り付けられたカメラ 4 のブレを小さくすることができる。これにより、ワークの位置や姿勢、又は部品の有無などの表面状態やラベルの認識等の計測の正確性を向上させることができる。

【0045】

40

また、その際、ロボットアーム 2 を停止させることなくカメラの撮影を行うため、ロボットアーム 2 を再加速するための時間が不要になる。そのため、作業時間の短縮を図ることができる。

【0046】

なお、ここでいう平行とは数学的に厳密な平行でなくても、ほぼ平行で同等の効果を奏するものを含む。厳密な平行方向に対してずれが小さく、X、Y 方向の運動成分が Z 方向の運動に対して無視できるほど小さければよい。例えば、前記した例では Z 方向に  $100 \mu\text{m}$  進む間に X Y 方向には、 $1 \mu\text{m}$  進む程度の平行度のブレであれば、ほぼ同等の効果が得られる。

【0047】

50



## &lt; 第 2 実施形態 &gt;

次に、本発明の第 2 実施形態について、図 1 及び図 2 を援用すると共に、図 5 を参照しながら説明する。第 2 実施形態に係るロボット装置 1 A は、制御装置 5 A によるエンドエフェクタ 3 及びカメラ 4 の軌道が第 1 実施形態と相違する。そのため、第 2 実施形態においては、第 1 実施形態と相違する点、即ち、エンドエフェクタ 3 及びカメラ 4 の軌道を中心に説明し、第 1 実施形態と同様の構成については説明を省略する。

## 【 0 0 4 8 】

図 1 及び図 2 に示すように、ロボット装置 1 A は、ロボット本体 6 と、カメラ 4 と、ロボット本体 6 及びカメラ 4 を制御可能な制御装置 5 A と、を備えている。ロボット本体 6 は、ロボットアーム 2 と、エンドエフェクタ 3 と、を備えている。制御装置 5 A は、画像処理装置 5 1 と、軌道生成装置 5 2 と、記憶装置 5 3 と、ロボットコントローラ 5 4 と、記録メディア読取装置 5 5 と、通信装置 5 6 と、を備えている。

10

## 【 0 0 4 9 】

次に、上述のように構成された制御装置 5 A によるロボットアーム 2 の制御方法について、図 5 を参照しながら説明する。なお、カメラ 4 がワーク 1 0 を撮影可能な範囲に移動するまでは第 1 実施形態と同様であるため、ここではその説明は省略する。

## 【 0 0 5 0 】

カメラ 4 がワーク 1 0 を撮影可能な領域に移動すると、軌道生成装置 5 2 により、カメラ 4 が光軸と平行にワーク 1 0 に向かって直線移動（図 3 に示す直線 1 c）するように、平行軌道が生成される。このとき、軌道生成装置 5 2 は、図 5 に示すように、少なくともカメラ 4 が撮影する位置までは初期教示点 T P がカメラ 4 の光軸上に位置するように、平行軌道を形成する。

20

## 【 0 0 5 1 】

初期教示点 T P をカメラ 4 の光軸上に位置させると、初期教示点 T P のカメラ 4 で撮影される画像位置は  $x = y = 0$  なので、図 4 に示す式から Z 方向の運動に対しての画像ブレは 0 となる。通常、測定対象点は、仮の測定点すなわち初期教示点付近に存在するので、この形態を実施すれば、第 1 実施形態より測定対象物のブレ量が少なくなり、高いブレ防止効果を得ることができる。

## 【 0 0 5 2 】

なお、撮影後のアプローチ軌道は、図 5 に示す 1 e の曲線部のようにすることが好ましい。即ち、撮影するまでは直線移動し、その後、滑らかに軌道が変化するように曲線状に軌道を生成することが好ましい。

30

## 【 0 0 5 3 】

## &lt; 第 3 実施形態 &gt;

次に、本発明の第 3 実施形態について、図 1 及び図 2 を援用すると共に、図 6 及び図 7 を参照しながら説明する。第 3 実施形態に係るロボット装置 1 B は、エンドエフェクタ 3 の先端が写るように、エンドエフェクタ 3 に対して所定角度傾斜した状態でカメラ 4 が取り付けられている点が第 1 実施形態と相違する。そのため、第 3 実施形態においては、第 1 実施形態と相違する点、即ち、カメラ 4 の取付け状態を中心に説明し、第 1 実施形態と同様の構成については説明を省略する。

40

## 【 0 0 5 4 】

図 1 及び図 2 に示すように、ロボット装置 1 B は、ロボット本体 6 と、カメラ 4 B と、ロボット本体 6 及びカメラ 4 を制御可能な制御装置 5 B と、を備えている。ロボット本体 6 は、ロボットアーム 2 と、エンドエフェクタ 3 B と、を備えている。制御装置 5 B は、画像処理装置 5 1 と、軌道生成装置 5 2 と、記憶装置 5 3 と、ロボットコントローラ 5 4 と、記録メディア読取装置 5 5 と、通信装置 5 6 と、を備えている。

## 【 0 0 5 5 】

ここで、例えば、ドライバやディスペンサなど、一般にエンドエフェクタは作業姿勢に限定があるものがほとんどである。つまり、エンドエフェクタでの作業には方向性があり、作業時にはエンドエフェクタに特定の姿勢を取らせる必要がある。そこで、本実施形態

50

では、図 6 及び図 7 に示すように、カメラ 4 B がエンドエフェクタ 3 B に対して適当な仰角を持ち、常にその画角にエンドエフェクタ 3 B の先端が映るようにロボットアーム 2 の先端に固定されている。

【 0 0 5 6 】

なお、ここでいう仰角とは、カメラ 4 B の光軸と、エンドエフェクタ（例えば、ドライバ）3 B の作業方向とがなす角である。すなわち、エンドエフェクタ 3 B が作業時に作業部位が写るように作業方向に対してカメラ 4 B が側方から覗き込む角度のことである。また、エンドエフェクタ 3 B の作業方向とは、例えば、ドライバを例に示すとネジが進む方向、すなわち主軸方向である。通常は、適当な仰角を付けることによって光軸付近にエンドエフェクタ 3 B の作業点が位置するように設置される。

10

【 0 0 5 7 】

このように、エンドエフェクタ 3 B の先端が映るようにカメラ 4 B を取り付けすることで、図 7 に示すように、作業対象にアプローチする際、エンドエフェクタ 3 B を作業時の姿勢に保つことが可能になり、動作の無駄を無くすることができる。例えば、図 1 2 に示す従来例のように、最短距離でワーク 1 1 0 にアプローチする場合、遠距離では初期教示点 T P が画角に入らない上に、画角に入った後も画像上での初期教示点 T P の位置が大きく動いてしまい、大きなブレが生じてしまう。これに対して第 3 実施形態では、エンドエフェクタ 3 B の姿勢を保ったまま、カメラ 4 B の設置された仰角方向からエンドエフェクタ 3 B の先端を進入させる軌道をとる。こうすることによって、カメラ 4 B はその光軸方向と平行に運動することとなり、第 1 実施形態と同様にして、平行軌道に乗った以降であればいつ撮影しても、撮影する際のブレを小さく抑えることができる。また、例えば、図 1 3 に示す従来例のように、ワークがずれていなかった場合にエンドエフェクタ 1 0 4 を大きく動かす等の必要がなくなる。

20

【 0 0 5 8 】

なお、教示点が光軸上にあるように軌道をとれば、教示点の画像上でのブレを 0 とすることが可能である。また、さらにエンドエフェクタの作用点も光軸上にあるようにロボットアームの先端に固定すると、エンドエフェクタの作用点と教示点付近にある真の目標点を一致させるような画像サーボ動作に用いることができる。

【 0 0 5 9 】

< 第 4 実施形態 >

30

次に、本発明の第 4 実施形態について、図 2 を援用すると共に、図 8 から図 1 1 を参照しながら説明する。第 4 実施形態に係るロボット装置 1 C は、2 眼のステレオカメラを用いる点が第 1 実施形態と相違する。そのため、第 4 実施形態においては、ステレオカメラを用いた場合を中心に説明し、第 1 実施形態と同様の構成については説明を省略する。

【 0 0 6 0 】

図 8 に示すように、ロボット装置 1 C は、ロボット本体 6 と、ロボット本体 6 に取り付けられたカメラ 4 2 , 4 3 と、ロボット本体 6 及びカメラ 4 2 , 4 3 を制御可能な制御装置 5 C と、を備えている。ロボット本体 6 は、ロボットアーム 2 と、エンドエフェクタ 3 と、を備えている。

【 0 0 6 1 】

40

図 9 に示すように、カメラ 4 2 , 4 3 は、相互に所定の基線長を保ってロボットアーム 2 に固定されており、公知のステレオ計測を行うことによってワーク 1 0 の 3 次元の位置姿勢を検出することが可能なステレオカメラ 4 1 である。また、図 9 に示す 1 c 2 2 はカメラ 4 2 の焦点と初期教示点 T P を通る直線であり、1 c 2 3 はカメラ 4 3 の焦点と初期教示点 T P を通る直線である。図 9 に示す P c は、2 つの直線 1 c 2 2 , 1 c 2 3 が張る平面であり、言い換えると、カメラ 4 2 の焦点と、カメラ 4 3 の焦点と、初期教示点 T P とから構成される平面である。この平面は、通常、エピポーラ面 P c と呼ばれ、ロボットアーム 2 の先端の軌道は、このエピポーラ面 P c と平行になるように軌道生成装置 5 2 によって生成される。

【 0 0 6 2 】

50

次に、エピポーラ面  $P_c$  と平行にカメラ 4 2 , 4 3 を移動させた場合の効果について、図 1 0 を参照しながら説明する。図 1 0 に示す 4 4 はカメラ 4 2 で撮影された画像であり、2 5 はカメラ 4 3 で撮影された画像である。また、 $t p 4 4$  ,  $t p 5 5$  はそれぞれ教示点の画像 4 4 、画像 4 5 上での位置及びブレを示している。本実施形態の場合、計測点の像は常に同一のエピポーラ面上にあるように制御されるため、図 1 0 に図示したようにブレは特定の方向、すなわち、いわゆるエピポーラ線上に限定して発生する。

#### 【 0 0 6 3 】

また、作業時には、ロボットアーム 2 の先端及びカメラ 4 2 , 4 3 は教示点に近接するため、公知のステレオ計測の原理によりブレにより発する輝線のうち、もっとも視差の大きい点が最終的な位置を表す。例えば、図 1 1 において、O 点は計測点を示し、点 A 、点 B は、カメラ 4 2 , 4 3 が露光を開始する点での計測点 O の像を示し、点 A ' 、点 B ' は、カメラ 4 2 , 4 3 が露光を終了する点での計測点 O の像を示している。また、線分 A ' A ' ' 及び線分 B ' B ' ' は露光終了時に計測点に相当する像のブレを示している。図 1 1 に示すように、カメラが計測点 O に最も近づいた時、すなわち A ' ' , B ' ' の組が視差が最も大きくなっていることが分かる。このように、ブレ像のうち最も視差が大きくなる点が最新の位置を示しているため、この位置は容易に限定でき、またこの位置をもって計測を行えば、もっとも最新の情報を得ることができる。

#### 【 0 0 6 4 】

以上説明したように、第 3 実施形態によれば、ブレが発生した場合でも、容易に正確な三次元の目標位置を検出することが可能となり、動きながらの 3 次元位置計測が可能になる。

#### 【 0 0 6 5 】

なお、軌道の方角として、さらに 2 つのカメラの焦点を結ぶ線の垂直 2 等分線と平行とすれば、片方のカメラのみ大きくぶれることがなくなり、より好ましい。また、軌道の方角として、さらに片方のカメラの光軸上に教示点が乗るように生成すれば、そちらのカメラのブレを、ほぼなくすことができる。したがってこの場合は、3 次元の位置計測の他に光軸上に教示点が乗るように設定されたカメラ側でテクスチャなど表面状態をブレなく観測することが可能となる。

#### 【 符号の説明 】

#### 【 0 0 6 6 】

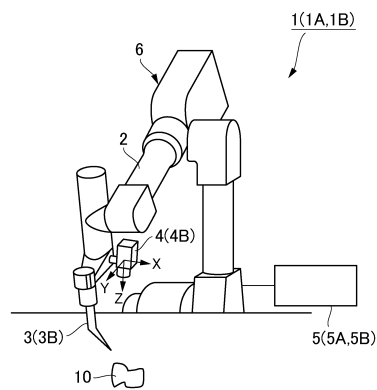
- 1、1 A、1 B、1 C      ロボット装置
- 2      ロボットアーム
- 3、3 B      エンドエフェクタ
- 4      カメラ
- 5、5 A、5 B、5 C      制御装置（制御部）
- 6      ロボット本体
- 1 0      ワーク

10

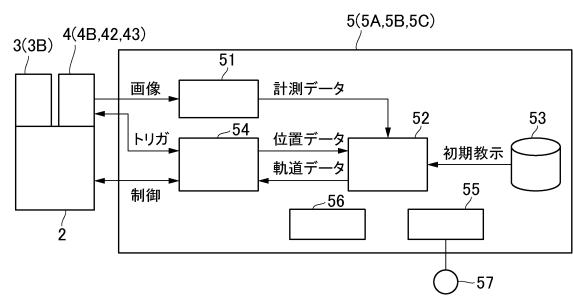
20

30

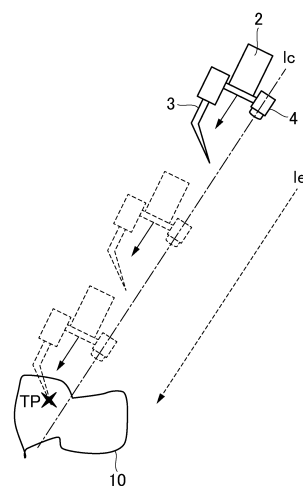
【図 1】



【図 2】



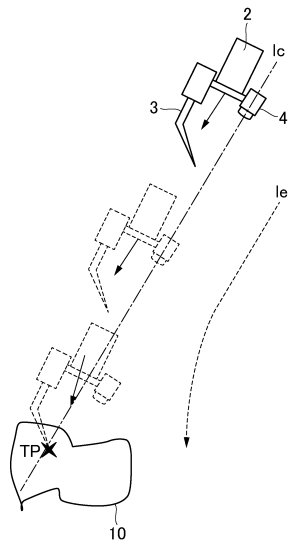
【図 3】



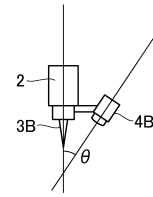
【図 4】

運動方向 \ プレ方向	X	Y
X	$\frac{f}{W} \int_0^T v_x(t) dt$	0
Y	0	$\frac{f}{W} \int_0^T v_y(t) dt$
Z	$\frac{xf}{W^2} \int_0^T v_z(t) dt$	$\frac{yf}{W^2} \int_0^T v_z(t) dt$

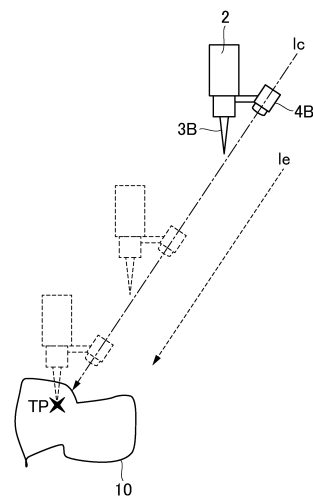
【図 5】



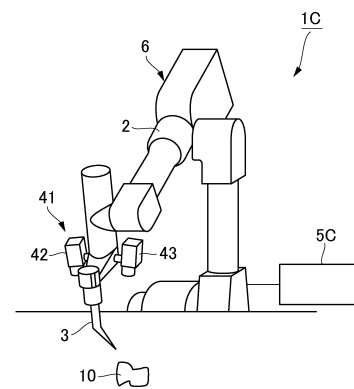
【図 6】



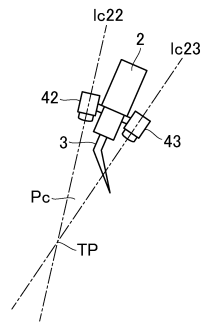
【図 7】



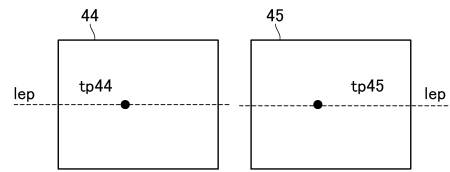
【図 8】



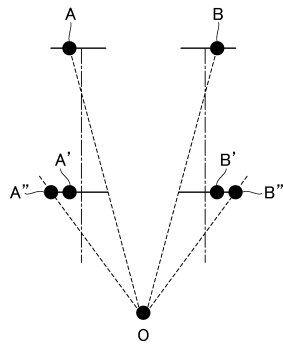
【図 9】



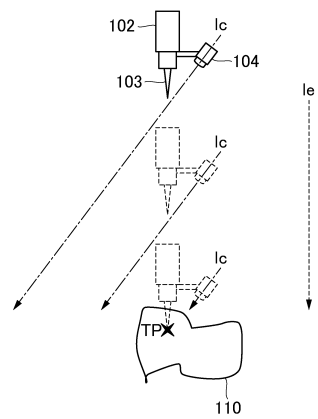
【図 10】



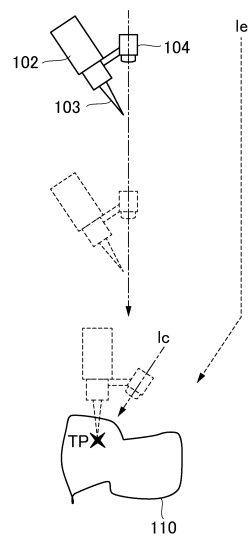
【図 11】



【図 12】



【図 13】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平06-099381(JP,A)  
特開2009-051003(JP,A)  
特開平09-047991(JP,A)  
特開2009-241247(JP,A)  
特開2004-351570(JP,A)  
特開平09-076185(JP,A)  
特開2013-036988(JP,A)  
特開平08-047881(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
B25J1/00-21/02