

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7323993号

(P7323993)

(45)発行日 令和5年8月9日(2023.8.9)

(24)登録日 令和5年8月1日(2023.8.1)

(51)国際特許分類

F I

B 2 5 J 13/08 (2006.01)

B 2 5 J 13/08

A

請求項の数 14 (全23頁)

(21)出願番号	特願2018-182701(P2018-182701)	(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
(22)出願日	平成30年9月27日(2018.9.27)	(74)代理人	110003281 弁理士法人大塚国際特許事務所
(65)公開番号	特開2019-77026(P2019-77026A)	(72)発明者	山田 貴之 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
(43)公開日	令和1年5月23日(2019.5.23)	(72)発明者	小林 一彦 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
審査請求日	令和3年9月27日(2021.9.27)	審査官	臼井 卓巳
(31)優先権主張番号	特願2017-202858(P2017-202858)		
(32)優先日	平成29年10月19日(2017.10.19)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 制御装置、ロボットシステム、制御装置の動作方法及びプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ロボットに取り付けられた撮像装置により、前記ロボットが回転制御可能な制御対象及び前記制御対象の移動先である目標位置であって凹部にある目標の位置である前記目標位置を撮像した画像を取得する画像取得手段と、
前記画像における前記制御対象のエッジに基づいて、前記制御対象の回転軸の進行方向であって前記制御対象の回転軸に沿っている前記進行方向を表す該画像中の2次元方向を取得する進行方向取得手段と、

前記画像から前記目標位置を表す該画像中の2次元位置を検出する目標位置検出手段と、

前記回転軸の進行方向の延長上に前記目標位置が存在し、前記回転軸の進行方向と前記凹部の深さ方向とが一致するように前記制御対象の姿勢を変更する動作を前記制御対象が前記目標位置に達する前に生成し、さらに姿勢を変更した制御対象の進行方向に沿って前記制御対象を前記目標位置に近づける動作を生成する動作生成手段と、

前記動作に従って前記制御対象を制御する制御手段と、

を備え、

前記動作生成手段は、前記2次元方向に沿った線分と前記2次元位置とを近づける前記制御対象の姿勢の制御量を求め、該制御量に基づいて前記制御対象の姿勢を更新することを特徴とする制御装置。

【請求項2】

前記進行方向および前記目標位置に基づいて前記制御手段による制御を終了するか否か

10

20

を判断する終了判断手段をさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 3】

前記動作生成手段は、前記進行方向および前記目標位置に基づいて前記制御対象の制御量の成分である動作パラメータを切り替え、当該切り替えた動作パラメータに従って前記制御対象の動作を生成することを特徴とする請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 4】

前記目標位置と、前記進行方向と、前記制御対象の軸が移動する方向または距離の少なくとも一方を、前記画像に重畳して表示する動作表示手段をさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 5】

目標平面を計測する平面計測手段をさらに備え、

前記動作生成手段は、前記目標平面に基づいて、前記凹部の深さ方向を求めることを特徴とする請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 6】

前記撮像装置と、前記ロボットが有するロボットアームと、前記制御対象との位置姿勢関係を表すパラメータであるキャリブレーション値を保存するキャリブレーション値保存手段と、

前記キャリブレーション値および前記動作生成手段により生成された結果に基づいて、前記キャリブレーション値を補正するキャリブレーション値補正手段と、

をさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 7】

前記制御対象は、前記ロボットアームに取り付けられたエンドエフェクタであることを特徴とする請求項 6 に記載の制御装置。

【請求項 8】

前記凹部はネジ穴であり、前記制御対象はドライバであることを特徴とする請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 9】

ロボットに取り付けられた撮像装置により、前記ロボットが回転制御可能な制御対象及び前記制御対象の移動先である目標であって凹部にある前記目標を撮像した画像を取得する画像取得手段と、

前記画像から前記制御対象に関連付けられた制御位置を表す該画像中の 2 次元位置を検出する位置検出手段と、

前記画像における前記制御対象のエッジに基づいて、前記目標に関連付けられた前記制御対象の回転軸に沿った進行方向を表す該画像中の 2 次元方向を検出する方向検出手段と、

前記回転軸の進行方向及び前記制御位置に基づいて、前記回転軸の進行方向と前記凹部の深さ方向とが一致するように前記制御対象の姿勢を変更する動作を前記制御対象が目標位置に達する前に生成し、さらに姿勢を変更した制御対象の回転軸の進行方向に沿って前記制御対象を前記制御位置に近付ける動作を生成する動作生成手段と、

前記動作に従って前記制御対象を制御する制御手段と、

を備え、

前記動作生成手段は、前記 2 次元方向に沿った線分と前記 2 次元位置とを近づける前記制御対象の姿勢の制御量を求め、該制御量に基づいて前記制御対象の姿勢を更新することを特徴とする制御装置。

【請求項 10】

ロボットに取り付けられた撮像装置により、前記ロボットが回転制御可能な制御対象及び前記制御対象の移動先である目標位置であって凹部にある目標の位置である前記目標位置を撮像した画像を取得する画像取得手段と、

前記画像における前記制御対象のエッジに基づいて、前記制御対象の回転軸の進行方向であって前記制御対象の回転軸に沿っている前記進行方向を表す該画像中の 2 次元方向を取得する進行方向取得手段と、

10

20

30

40

50

前記画像から前記目標位置を表す該画像中の２次元位置を検出する目標位置検出手段と、

前記回転軸の進行方向の延長上に前記目標位置が存在し、前記回転軸の進行方向と前記凹部の深さ方向とが一致するように前記制御対象の姿勢を変更する動作を前記制御対象が前記目標位置に達する前に生成し、さらに姿勢を変更した制御対象の進行方向に沿って前記制御対象を前記目標位置に近づける動作を生成する動作生成手段と、

前記動作に従って前記制御対象を制御する制御手段と、

を備え、

前記動作生成手段は、前記２次元方向に沿った線分と前記２次元位置とを近づける前記制御対象の姿勢の制御量を求め、該制御量に基づいて前記制御対象の姿勢を更新する制御装置と、

10

前記ロボットと、

前記撮像装置と、

を備えることを特徴とするロボットシステム。

【請求項１１】

制御装置の動作方法であって、

ロボットに取り付けられた撮像装置により、前記ロボットが回転制御可能な制御対象及び前記制御対象の移動先である目標位置であって凹部にある目標の位置である前記目標位置を撮像した画像を取得する工程と、

前記画像における前記制御対象のエッジに基づいて、前記制御対象の回転軸の進行方向であって前記制御対象の回転軸に沿っている前記進行方向を表す該画像中の２次元方向を取得する工程と、

20

前記画像から前記目標位置を表す該画像中の２次元位置を検出する工程と、

前記回転軸の進行方向の延長上に前記目標位置が存在し、前記回転軸の進行方向と前記凹部の深さ方向とが一致するように前記制御対象の姿勢を変更する動作を前記制御対象が前記目標位置に達する前に生成し、さらに姿勢を変更した制御対象の進行方向に沿って前記制御対象を前記目標位置に近づける動作を生成する工程と、

前記動作に従って前記制御対象を制御する工程と、

を有し、

前記動作を生成する工程では、前記２次元方向に沿った線分と前記２次元位置とを近づける前記制御対象の姿勢の制御量を求め、該制御量に基づいて前記制御対象の姿勢を更新することを特徴とする制御装置の動作方法。

30

【請求項１２】

制御装置の動作方法であって、

ロボットに取り付けられた撮像装置により、前記ロボットが回転制御可能な制御対象及び前記制御対象の移動先である目標であって凹部にある前記目標を撮像した画像を取得する工程と、

前記画像から前記制御対象に関連付けられた制御位置を表す該画像中の２次元位置を検出する工程と、

前記画像における前記制御対象のエッジに基づいて、前記目標に関連付けられた前記制御対象の回転軸に沿った進行方向を表す該画像中の２次元方向を検出する工程と、

40

前記回転軸の進行方向及び前記制御位置に基づいて、前記回転軸の進行方向と前記凹部の深さ方向とが一致するように前記制御対象の姿勢を変更する動作を前記制御対象が目標位置に達する前に生成し、さらに姿勢を変更した制御対象の回転軸の進行方向に沿って前記制御対象を前記制御位置に近付ける動作を生成する工程と、

前記動作に従って前記制御対象を制御する工程と、

を有し、

前記動作を生成する工程では、前記２次元方向に沿った線分と前記２次元位置とを近づける前記制御対象の姿勢の制御量を求め、該制御量に基づいて前記制御対象の姿勢を更新することを特徴とする制御装置の動作方法。

50

【請求項 1 3】

制御装置の動作方法であって、

ロボットに取り付けられた撮像装置により、前記ロボットが回転制御可能な制御対象及び前記制御対象の移動先である目標位置であって凹部にある目標の位置である前記目標位置を撮像した画像を取得する工程と、

前記画像における前記制御対象のエッジに基づいて、前記制御対象の回転軸の進行方向であって前記制御対象の回転軸に沿っている前記進行方向を表す該画像中の 2 次元方向を取得する工程と、

前記画像から前記目標位置を表す該画像中の 2 次元位置を検出する工程と、

前記回転軸の進行方向の延長上に前記目標位置が存在し、前記回転軸の進行方向と前記凹部の深さ方向とが一致するように前記制御対象の姿勢を変更する動作を前記制御対象が前記目標位置に達する前に生成し、さらに姿勢を変更した制御対象の進行方向に沿って前記制御対象を前記目標位置に近づける動作を生成する工程と、

前記動作に従って前記制御対象を制御する工程と、

を有し、

前記動作を生成する工程では、前記 2 次元方向に沿った線分と前記 2 次元位置とを近づける前記制御対象の姿勢の制御量を求め、該制御量に基づいて前記制御対象の姿勢を更新する制御装置の動作方法を、コンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項 1 4】

制御装置の動作方法であって、

ロボットに取り付けられた撮像装置により、前記ロボットが回転制御可能な制御対象及び前記制御対象の移動先である目標であって凹部にある前記目標を撮像した画像を取得する工程と、

前記画像から前記制御対象に関連付けられた制御位置を表す該画像中の 2 次元位置を検出する工程と、

前記画像における前記制御対象のエッジに基づいて、前記目標に関連付けられた前記制御対象の回転軸に沿った進行方向を表す該画像中の 2 次元方向を検出する工程と、

前記回転軸の進行方向及び前記制御位置に基づいて、前記回転軸の進行方向と前記凹部の深さ方向とが一致するように前記制御対象の姿勢を変更する動作を前記制御対象が目標位置に達する前に生成し、さらに姿勢を変更した制御対象の回転軸の進行方向に沿って前記制御対象を前記制御位置に近付ける動作を生成する工程と、

前記動作に従って前記制御対象を制御する工程と、

を有し、

前記動作を生成する工程では、前記 2 次元方向に沿った線分と前記 2 次元位置とを近づける前記制御対象の姿勢の制御量を求め、該制御量に基づいて前記制御対象の姿勢を更新する制御装置の動作方法を、コンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、制御装置、ロボットシステム、制御装置の動作方法及びプログラムに関し、特に、画像に基づいてロボットを制御するビジュアルサーボ技術に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、カメラ画像に基づいてロボットの制御を行う手法の一つとして、ビジュアルサーボが知られている。ビジュアルサーボとは、所望の位置に対象物体が写るようにロボットをフィードバック制御する技術である。ビジュアルサーボを用いると、ロボットとカメラとの間やロボットとエンドエフェクタとの間の位置姿勢関係を精度よく求めておく必要がなく、それらの位置関係を求めるキャリブレーション作業の負荷を低減することができる。中でも、目標位置へ誘導する対象や目標位置にある対象の特徴を画像から抽出し、それらの位置の差に基づいてロボットを制御する手法は、誘導する対象や目標位置にある対象

10

20

30

40

50

の位置変化に対応できる利点がある。

【 0 0 0 3 】

特許文献 1 では、組付け対象物と被組付け対象物とを撮像した画像から特徴量検出を行い、検出結果に基づいて組付け作業をすることで、被組付け対象物が位置ずれしている場合でも組付け作業を実現することが開示されている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 文献 】特開 2 0 1 5 - 8 5 4 5 0 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

画像特徴を使ったビジュアルサーボを実現するためには、目標位置へ誘導する対象と目標位置にある対象とを同じ画像中に撮像すると共に、それぞれ複数の特徴を抽出することで位置姿勢を特定できるようにする必要がある。しかしながら、物体の形状によっては少ない特徴しか抽出することができないことがある。また、カメラの配置によっても物体の一部しか見えないため特徴を十分に抽出できないことがある。

【 0 0 0 6 】

本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、画像から十分に特徴を抽出できない場合においてもビジュアルサーボを実現して高精度にタスクを実行可能にするための技術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 】

【 0 0 0 7 】

上記の目的を達成する本発明に係る制御装置は、

ロボットに取り付けられた撮像装置により、前記ロボットが回転制御可能な制御対象及び前記制御対象の移動先である目標位置であって凹部にある目標の位置である前記目標位置を撮像した画像を取得する画像取得手段と、

前記画像における前記制御対象のエッジに基づいて、前記制御対象の回転軸の進行方向であって前記制御対象の回転軸に沿っている前記進行方向を表す該画像中の 2 次元方向を取得する進行方向取得手段と、

前記画像から前記目標位置を表す該画像中の 2 次元位置を検出する目標位置検出手段と、

前記回転軸の進行方向の延長上に前記目標位置が存在し、前記回転軸の進行方向と前記凹部の深さ方向とが一致するように前記制御対象の姿勢を変更する動作を前記制御対象が前記目標位置に達する前に生成し、さらに姿勢を変更した制御対象の進行方向に沿って前記制御対象を前記目標位置に近づける動作を生成する動作生成手段と、

前記動作に従って前記制御対象を制御する制御手段と、

を備え、

前記動作生成手段は、前記 2 次元方向に沿った線分と前記 2 次元位置とを近づける前記制御対象の姿勢の制御量を求め、該制御量に基づいて前記制御対象の姿勢を更新することを特徴とする。

【 発明の効果 】

【 0 0 0 8 】

本発明によれば、画像から十分に特徴を抽出できない場合においてもビジュアルサーボを実現して高精度にタスクを実行することが可能となる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 9 】

【 図 1 】 第 1 の実施形態のロボットシステムの構成例を示す構成図。

【 図 2 】 第 1 の実施形態のロボットシステムの構成例を示すブロック図。

【 図 3 】 第 1 の実施形態のロボットシステムによる処理を説明するフローチャート。

【 図 4 】 第 1 の実施形態のロボットシステムの座標系を説明する図。

10

20

30

40

50

【図 5】第 1 の実施形態の動作生成部を説明する図。

【図 6】第 1 の実施形態の変形例 1 のロボットシステムによる処理を説明するフローチャート。

【図 7】第 1 の実施形態の変形例 2 の動作生成部を説明する図。

【図 8】第 1 の実施形態の変形例 2 の動作生成部を説明する図。

【図 9】第 1 の実施形態の変形例 3 の動作表示部を説明する図。

【図 10】第 2 の実施形態のロボットシステムの構成例を示すブロック図。

【図 11】第 2 の実施形態のロボットシステムによる処理を説明するフローチャート。

【図 12】第 3 の実施形態のロボットシステムの構成例を示すブロック図。

【図 13】第 3 の実施形態のロボットシステムによる処理を説明するフローチャート。

10

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、図面を参照しながら実施形態を説明する。なお、以下の実施形態において示す構成は一例に過ぎず、本発明は図示された構成に限定されるものではない。

【0011】

(第 1 の実施形態)

第 1 の実施形態では、ロボットに取り付けた撮像装置で、制御対象と目標位置とを撮像し、ロボットにより制御対象を目標位置まで誘導する。本実施形態では、制御対象とはロボットに装着したエンドエフェクタであるドライバである。目標位置とはエンドエフェクタがタスクを実行する位置のことで、本実施形態では画像特徴 1 点の位置であるネジ中心を用いる。なお、目標位置は 2 点以上の画像特徴でもよい。ロボットによるタスクとして誘導後にエンドエフェクタであるドライバを用いてネジを取り外すことで、自動でネジを外すロボットシステムについても説明する。画像中のドライバとネジとの位置関係からロボットの動作を生成することで、ロボットと撮像装置とのキャリブレーションあるいは撮像装置とエンドエフェクタとのキャリブレーションに誤差がある場合でも、正確に制御できる。

20

【0012】

[装置の構成]

図 1 の構成図および図 2 のブロック図により第 1 の実施形態の制御装置 100 を備えるロボットシステム 1000 の構成例を示す。ロボットシステム 1000 は、撮像装置 1 と、ロボットアーム 2 と、エンドエフェクタ 3 と、制御装置 100 とを備える。

30

【0013】

撮像装置 1 は、エンドエフェクタ 3 に取り付けられ、エンドエフェクタ 3 および目標位置を含むシーンを撮像する装置である。たとえば、撮像装置 1 は 2 台のグレースケールカメラから構成され、制御部 106 からの撮像トリガにより撮像を行い、画像取得部 101 に画像信号を送る。

【0014】

ロボットアーム 2 は、制御対象を移動させる装置である。たとえばロボットアーム 2 は 6 軸ロボットから構成され、制御装置 100 により制御値を入力されて動作する。エンドエフェクタ 3 は、ロボットアームの先端に取り付けられた、目標を操作する装置である。たとえば、エンドエフェクタ 3 はドライバおよび近接センサから構成され、制御装置 100 にドライバと目標との接触状態を入力する。また、エンドエフェクタ 3 は制御装置 100 により制御値を入力されて動作する。

40

【0015】

制御装置 100 は、画像取得部 101 と、軸方向取得部 102 と、目標位置検出部 103 と、動作生成部 104 と、終了判断部 105 と、制御部 106 とを備える。

【0016】

画像取得部 101 は、撮像装置 1 から画像信号を受け取り、軸方向取得部 102 及び目標位置検出部 103 に画像データを送る。たとえば画像取得部 101 はメモリから構成される。

50

【 0 0 1 7 】

軸方向取得部 1 0 2 は、画像取得部 1 0 1 から画像データを受け取り、図示しない軸方向設定部により設定された制御対象の軸方向を取得し、軸方向データを動作生成部 1 0 4 及び終了判断部 1 0 5 に送る。ここで、軸とは例えば回転軸であり、軸方向とは、制御対象と目標位置との位置姿勢関係を測るための制御対象に関連付けられた画像中の線分のことで、たとえばエンドエフェクタ 3 であるドライバの中心軸を、軸上の 2 次元点と、根本から先端に向かう 2 次元ベクトルとで表す。なお、ベクトルは逆に先端から根本に向かう方向でもよい。軸方向を設定することで、エンドエフェクタ 3 に取り付けられた撮像装置 1 ではエンドエフェクタ 3 を部分的にしか撮像できず、十分にエンドエフェクタ 3 の特徴を検出できない状況であっても、動作生成部 1 0 4 がロボットアーム 2 の先端部の動作を規定する位置姿勢を計算することができる。

10

【 0 0 1 8 】

目標位置検出部 1 0 3 は、画像取得部 1 0 1 から画像データを受け取り、画像データから目標位置を検出し、目標位置データを動作生成部 1 0 4 及び終了判断部 1 0 5 に送る。動作生成部 1 0 4 は、軸方向取得部 1 0 2 及び目標位置検出部 1 0 3 から受け取った軸方向データ及び目標位置データに基づいて、ロボットアーム 2 の先端部の動作を規定する位置姿勢を計算し、位置姿勢データを制御部 1 0 6 に送る。まずは、回転軸の延長上に目標位置が存在するようにロボットアーム 2 の先端部を移動させ、その後、軸方向に沿ってロボットアーム 2 の先端部を目標位置に到達させる。

【 0 0 1 9 】

終了判断部 1 0 5 は、軸方向取得部 1 0 2 及び目標位置検出部 1 0 3 から受け取った軸方向データ及び目標位置データに基づいて、制御対象が目標位置に到達したかを判断し、終了判断データを制御部 1 0 6 に送る。

20

【 0 0 2 0 】

制御部 1 0 6 は、動作生成部 1 0 4 から受け取った位置姿勢データに基づいてロボットアーム 2 を制御する。また、制御部 1 0 6 は、終了判断部 1 0 5 から受け取った終了判断データに基づいて、制御ループを続ける場合は撮像装置 1 に撮像トリガを送り、制御ループを終了する場合はタスク動作に基づいてロボットアーム 2 およびエンドエフェクタ 3 を制御する。

【 0 0 2 1 】

〔 制御処理 〕

図 3 のフローチャートおよび図 4 の座標系の定義により第 1 の実施形態の制御装置 1 0 0 およびロボットシステム 1 0 0 0 による制御処理方法を説明する。図 4 の 4 1 はロボットアーム 2 の基準であるロボット座標系、4 2 はロボットアーム 2 の先端部であるフランジ座標系、4 3 は撮像装置 1 の基準である撮像装置座標系、4 4 はエンドエフェクタ 3 の先端部であるエンドエフェクタ座標系である。Q はロボット座標系 4 1 におけるフランジ座標系 4 2 (フランジ位置姿勢)、G はフランジ座標系 4 2 から撮像装置座標系 4 3 への変換行列、H は撮像装置座標系 4 3 からエンドエフェクタ座標系 4 4 への変換行列を表す。

【 0 0 2 2 】

(ステップ S 1 0 1)

ステップ S 1 0 1 では、制御部 1 0 6 が、ロボットアーム 2 を初期位置姿勢に移動するように制御する。本実施形態では、制御部 1 0 6 がティーチングペンダントによる教示作業により設定した位置姿勢を初期位置姿勢として取得する。また、動作生成部 1 0 4 が変換行列 G および変換行列 H を取得する。なお、変換行列 G および変換行列 H は、ユーザがあらかじめ設計値やキャリブレーションにより求めておくが、誤差を含んでいてもかまわない。ロボットアーム 2 が初期位置姿勢に移動したら、制御部 1 0 6 が撮像装置 1 に撮像トリガを送る。

40

【 0 0 2 3 】

(ステップ S 1 0 2)

ステップ S 1 0 2 では、撮像装置 1 が、制御部 1 0 6 から撮像トリガを受け取り、撮像

50

を行い、撮像した画像信号を画像取得部 101 に送る。

【0024】

(ステップ S103)

ステップ S103 では、画像取得部 101 が、撮像装置 1 から画像信号を受け取り、軸方向取得部 102 及び目標位置検出部 103 に画像データを送る。

【0025】

(ステップ S104)

ステップ S104 では、軸方向取得部 102 が、画像取得部 101 から画像データを受け取り、制御対象の軸方向を取得し、取得した軸方向データを動作生成部 104 及び終了判断部 105 に送る。

【0026】

本実施形態では、画像に写ったエンドエフェクタ 3 であるドライバの直線エッジのうち長い 2 本の線分を検出し、その中線を軸として、画像の下から上に向かう方向を正とする軸方向を取得する。軸方向は本実施形態のように画像から検出してもよいし、図示しない軸方向設定部によって事前に設定したデータを取得してもよい。軸方向設定部は、たとえばユーザが画像中から 2 点指定して 2 点を結ぶ線分を軸方向として設定してもよい。あるいは、撮像装置 1 とエンドエフェクタ 3 との 3 次元的な位置関係を計測した結果から画像にエンドエフェクタ 3 の軸方向を投影した値を用いて軸方向を設定してもよい。

【0027】

(ステップ S105)

ステップ S105 では、目標位置検出部 103 が、画像取得部 101 から画像データを受け取り、画像データに基づいて目標位置を検出し、検出した目標位置データを動作生成部 104 及び終了判断部 105 に送る。

【0028】

本実施形態では、目標位置としてネジ中心位置を検出する。検出は事前に撮像したネジの画像をテンプレートとしたテンプレートマッチングで行ってもよいし、画像の輝度値に基づいてネジ領域を抽出しその重心を計算することで行ってもよい。

【0029】

(ステップ S106)

ステップ S106 では、動作生成部 104 が、軸方向取得部 102 及び目標位置検出部 103 から軸方向データおよび目標位置データを受け取り、ロボットアーム 2 の先端部の動作を規定する位置姿勢を計算する。また、動作生成部 104 は、計算した位置姿勢データを制御部 106 に送る。まずは、回転軸の延長上に目標位置が存在するようにロボットアーム 2 の先端部を移動させ、その後、軸方向に沿ってロボットアーム 2 の先端部を目標位置に到達させる。

【0030】

以下、図 5 を用いて動作生成の一例を説明する。図 5 において、51 は撮像装置 1 であるカメラで撮像した画像、52 は画像に写ったエンドエフェクタ 3 であるドライバ、53 は画像に写ったネジ、54 は取得した軸方向、55 は検出した目標位置、56 は軸方向と目標位置との距離を表している。これらの情報から軸方向と目標位置とを近づけるフランジ制御量を計算する。具体的には、まず以下の式 1 ~ 4 で制御対象の制御量 H' を解く。

【0031】

【数 1】

$$P' = H \cdot H' \cdot P \quad \dots(1)$$

【0032】

【数 2】

10

20

30

40

50

$$H' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dx \\ 0 & 1 & 0 & dy \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots(2)$$

10

【 0 0 3 3 】

【数 3】

$$\begin{aligned} u' &= f_x \times P'_x/P'_z + cx \\ v' &= f_y \times P'_y/P'_z + cy \end{aligned} \dots(3)$$

【 0 0 3 4 】

20

【数 4】

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial u'}{\partial dx} & \frac{\partial u'}{\partial dy} \\ \frac{\partial v'}{\partial dx} & \frac{\partial v'}{\partial dy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u - u_d \\ v - v_d \end{bmatrix} \dots(4)$$

30

【 0 0 3 5 】

ここで、式 1 は撮像装置 1 であるカメラとエンドエフェクタ 3 であるドライバとネジとの関係式である。P' は制御目標とする撮像装置座標系 4 3 におけるネジ位置、H' はエンドエフェクタ 3 であるドライバの制御量、P は制御目標とするエンドエフェクタ座標系 4 4 におけるネジ位置である。式 2 はエンドエフェクタ 3 であるドライバの制御量 H' の定義で、ここではエンドエフェクタ座標系 4 4 の x 軸方向、y 軸方向に動かす場合である。dx、dy は制御量を表す。式 3 はネジ位置 P' と画像との関係式で、u' および v' は P' の画像中への投影位置、f_x および f_y は撮像装置 1 であるカメラの焦点距離、cx および cy は撮像装置 1 であるカメラの主点位置を表す。式 4 は求める画像ヤコビアンで、u および v は検出したネジ位置、u_d および v_d はネジ位置から軸へと降ろした垂線の足の位置である。これらを撮像装置 1 であるステレオカメラの各画像から求めることで、エンドエフェクタ 3 であるドライバの制御量 H' が求まる。これを式 5 により現在のフランジ位置姿勢 Q に反映する。

40

【 0 0 3 6 】

【数 5】

50

$$Q' = Q \cdot G \cdot H \cdot H' \cdot H^{-1} \cdot G^{-1} \quad \dots (5)$$

【 0 0 3 7 】

ここで、Q'は求めるフランジ位置姿勢、Qは撮像した時のフランジ位置姿勢である。これにより、画像中の軸方向と目標位置との距離に基づいてフランジ位置姿勢を制御できる。その結果、フランジ位置姿勢計算は目標位置の正確な3次元位置を必要としないため、たとえば撮像装置1である2台のカメラ間の位置姿勢キャリブレーション誤差による3次元計測精度の影響を低減することができる。

10

【 0 0 3 8 】

(ステップS107)

ステップS107では、終了判断部105が、軸方向取得部102及び目標位置検出部103から軸方向データ及び目標位置データを受け取り、制御ループを終了するか継続するかを判断する。また、終了判断部105は、終了判断データを制御部106に送る。ここで、制御ループとはS102からS109までの、撮像した結果に基づいてロボットアーム2を制御する一連のループ処理のことである。終了判断は、検出した軸と目標位置との距離で判断してもよいし、前回の距離と今回の距離との差で判断してもよいし、ループ回数で判断してもよい。たとえば、前回の距離と今回の距離との差が一定値以下である場合に「終了」、それ以外の場合に「継続」と判断してもよいし、ループ回数が一定値以上の場合に「終了」、それ以外の場合に「継続」と判断してもよい。本実施形態では、軸方向と目標位置との距離が一定値以下である場合に「終了」、それ以外の場合に「継続」と判断する。

20

【 0 0 3 9 】

(ステップS108)

ステップS108では、制御部106が、動作生成部104から動作を規定する位置姿勢データを受け取り、受け取った位置姿勢へロボットアーム2を移動するように制御する。

【 0 0 4 0 】

(ステップS109)

ステップS109では、制御部106が、終了判断部105から終了判断データを受け取り、終了判断データが「継続」の場合は、制御部106が撮像装置1に撮像トリガを送り、S102に戻る。終了判断データが「終了」の場合は、S110へ進む。

30

【 0 0 4 1 】

(ステップS110)

ステップS110では、制御部106が、タスク動作を実行する。ここで、タスク動作とは、ロボットアーム2及びエンドエフェクタ3を、事前に設定された動きで制御することである。本実施形態のタスク動作は、エンドエフェクタ3であるドライバにより目標位置にあるネジを外すネジ外し動作である。たとえば、エンドエフェクタ3であるドライバを前進させて、近接センサによりエンドエフェクタ3であるドライバとネジとの接触を検知した後、ドライバを回転させながらネジを外してタスク動作を実行する前の位置姿勢に戻る。

40

【 0 0 4 2 】

(ステップS111)

ステップS111では、制御部106が、処理終了の判断をする。次の目標となるネジがある場合はS101に戻る。全ての目標に対してタスク実行が完了した場合は処理を終了する。

【 0 0 4 3 】

[効果]

本実施形態によれば、画像中の軸方向および目標位置からビジュアルサーボによるロボ

50

ット制御を実現することができる。その結果、キャリブレーション作業の負荷を低減しながら、画像から十分に特徴を抽出できない場合においても、高精度にタスクを実行できる。

【 0 0 4 4 】

[第 1 の実施形態の変形例 1]

制御対象の制御量H'を式 2 の定義により、エンドエフェクタ座標系 4 4 におけるx軸、y軸の並進としたが、これに限らない。制御量H'はx軸、y軸まわりの回転でもよいし、並進と回転を併用してもよい。

【 0 0 4 5 】

以下、図 6 のフローチャートにより第 1 の実施形態の変形例 1 の制御処理方法を説明する。図 6 におけるステップ S 1 0 1 ~ ステップ S 1 0 5、ステップ S 1 0 7 ~ ステップ S 1 1 1 は、それぞれ第 1 の実施形態の略同様のため省略する。

【 0 0 4 6 】

(ステップ S 1 0 6 1)

ステップ S 1 0 6 1 では、動作生成部 1 0 4 が、軸方向取得部 1 0 2 及び目標位置検出部 1 0 3 から軸方向データ及び目標位置データを受け取り、生成する動作パラメータを変更するか判断する。ここで、動作パラメータとは、制御対象の制御量H'の成分である。具体的には、制御量H'のx軸、y軸、z軸の並進成分、x軸、y軸、z軸まわりの回転成分である。動作生成部 1 0 4 が動作パラメータを変更すると判断した場合は、S 1 0 6 2 に進み、動作パラメータを変更しないと判断した場合は S 1 0 6 3 に進む。判定は S 1 0 6 1 を一定回数実行する毎に変更判定と非変更判定とを切り替えてもよいし、事前に登録したパターンで変更判定と非変更判定を切り替えてもよいし、検出した軸方向と目標位置との距離で判定してもよい。本実施形態では、軸方向と目標位置との距離が一定値以下である場合と、その次の判定とで 1 度ずつ変更判定とする。これにより、複数の動作パラメータを組み合わせてビジュアルサーボができる。

【 0 0 4 7 】

(ステップ S 1 0 6 2)

ステップ S 1 0 6 2 では、動作生成部 1 0 4 が、動作パラメータのうち固定する成分と変動させる成分を切り替える。動作生成部 1 0 4 が動作パラメータを切り替える前の制御量H'は式 2 から、エンドエフェクタ座標系 4 4 のx軸、y軸方向の並進成分以外の成分は 0 である。たとえば、動作パラメータをエンドエフェクタ座標系 4 4 のx軸、y軸まわりの回転以外の成分を 0 にするように変更すると、制御量H'は式 6 になる。

【 0 0 4 8 】

【数 6】

$$H' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & dy & 0 \\ 0 & 1 & -dx & 0 \\ -dy & dx & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots (6)$$

【 0 0 4 9 】

別の例として、動作パラメータをエンドエフェクタ座標系 4 4 のz軸方向に一定量L前進するように変更すると、制御量H'は式 7 になる。

【 0 0 5 0 】

【数 7】

10

20

30

40

50

$$H' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots (7)$$

【 0 0 5 1 】

本実施形態では、たとえば 1 回目の変更判定では、エンドエフェクタ座標系 4 4 の z 軸方向に $P'_z/2$ の距離前進するように動作パラメータを変更する。2 回目の変更判定では、エンドエフェクタ座標系 4 4 の x 軸、y 軸まわりの回転以外の成分が 0 になるように変更する。

【 0 0 5 2 】

画像から十分に制御対象または目標位置の特徴を抽出できない場合、動作パラメータの並進成分と回転成分とを同時に制御することはできない。しかし、本実施形態のように、並進制御、前進制御、回転制御を順番に切り替えて実行することで、並進成分の誤差と回転成分の誤差とを切り分けて制御することができる。そのため、画像から十分に制御対象または目標位置の特徴を抽出できない場合においても、位置と姿勢のビジュアルサーボが実現できる。

【 0 0 5 3 】

[第 1 の実施形態の変形例 2]

制御対象としてエンドエフェクタ 3 であるドライバ、目標位置としてネジを用いたが、これに限る必要はない。エンドエフェクタ 3 として吸着ハンドを用いてもよいし、多指ハンドを用いてもよい。目標位置として、被把持部品や被組付け部品を用いてもよい。

【 0 0 5 4 】

たとえば、図 7 の撮像装置 1 で撮像した画像 7 1 のように、制御対象としてエンドエフェクタ 3 である多指ハンド 7 2、軸方向としてエンドエフェクタ 3 である多指ハンドの中心線 7 4、目標位置として被把持部品 7 3 の中心位置 7 5 を用いてもよい。第 1 の実施形態と略同様に軸方向と目標位置との距離を近づけるように制御を行う。その後、エンドエフェクタ 3 である多指ハンドを前進し、閉じて、元の位置姿勢に戻ることで、被把持部品を正確に把持することができる。

【 0 0 5 5 】

また別の例として、図 8 で制御対象の制御位置と目標の軸方向とを画像から検出する場合の説明をする（位置検出及び方向検出）。8 1 は撮像装置 1 で撮像した画像、8 2 はエンドエフェクタ 3 である多指ハンドで把持した制御対象である組付け部品を表す。8 3 は制御対象である組付け部品の中心を検出した制御位置、8 4 は被組付け部品、8 5 は被組付け部品に基づいて検出した目標の軸方向を表す。第 1 の実施形態と略同様に軸方向と制御位置との距離を近づけるように制御を行う。その後、エンドエフェクタ 3 である多指ハンドを前進し、開いて、元の位置姿勢に戻ることで、制御対象に制御位置を設定し、被制御対象に軸方向を設定した場合でも正確にタスクを実行できる。なお、本実施形態において、把持は、把握（例えば複数のフィンガーで掴んだり挟持すること）や、保持（例えば真空吸着パッドや電磁力を利用して吸着すること）という概念を含む。

【 0 0 5 6 】

[第 1 の実施形態の変形例 3]

図示しない動作表示部を用いて、ロボットの動作を表示してもよい。以下、図 9 を用いて動作表示部の一例を説明する。図 9 において、9 1 はユーザに提示する動作表示部の画面、9 2 は画像取得部 1 0 1 から受け取った画像、9 3 は軸方向取得部 1 0 2 から受け取った軸方向を表している。9 4 は目標位置検出部 1 0 3 から受け取った目標位置、9 5 は軸が動く方向と距離、9 6 は制御ループを一時的に停止する際に押す一時停止ボタンを表

10

20

30

40

50

している。９７は制御ループを１回実行する際に押すステップ実行ボタン、９８は一時停止している制御ループを再開する際に押す再開ボタンを表している。ボタン操作は図示しないＵＩ機器（たとえば、マウス）によって行う。図９において、９５は矢印の方向が軸の動く方向、矢印の長さが軸の動く距離を示している。ただし、軸が動く距離は数値（実寸単位、画素単位）であっても構わない。また、軸が動く方向と距離とは、両方表示してあっても良いし、いずれか一方のみ表示してあっても良い。

【００５７】

まず、動作表示部は、画像取得部１０１、軸方向取得部１０２および目標位置検出部１０３から画像データ、軸方向データおよび目標位置データを受け取り、軸方向および目標位置を画像に重畳して表示する。また、動作表示部は、動作生成部１０４から位置姿勢データを受け取り、制御対象が移動する方向および距離を重畳して表示する。次に、ユーザが一時停止ボタン９６を押した場合、制御部１０６はロボットアーム２の制御を一時停止する。ユーザがステップ実行ボタン９７を押した場合、制御部１０６はロボットの制御を再開し、次にステップＳ１０８に到達した後、再度ロボットの制御を一時停止する。最後に、ユーザが再開ボタン９８を押すと、制御部１０６はロボットの制御を再開する。

【００５８】

このように、動作表示部を用いてロボットの動作を表示し、ロボットの動きを検出結果と共に確認しながら少しずつ動かすことで、制御や検出に必要なパラメータの調整や、問題が発生した時の原因解析を補助することができる。

【００５９】

〔第１の実施形態の変形例４〕

Ｓ１０１においてティーチングペンダントによる教示作業により設定した位置姿勢を取得したが、これに限る必要はない。たとえば、撮像装置１であるステレオカメラで俯瞰して撮像した画像に基づいて、ネジを検出しておおよその３次元位置を計測した結果に基づいて位置姿勢を求めてもよい。あるいは、ＣＡＤデータのような３次元モデルを用いてシミュレータにより位置姿勢を設定してもよい。また、複数の目標位置をタスク実行する順番と共に設定してもよい。

【００６０】

（第２の実施形態）

第２の実施形態では、第１の実施形態と同様に、ロボットに取り付けた撮像装置で、制御対象と目標位置とを撮像し、制御対象を目標位置まで誘導する。ただし、第２の実施形態では、光を投射する光投射装置と、光を投射した画像から目標であるネジが締結されている平面を計測する平面計測部とを備える点で第１の実施形態と異なる。目標であるネジが締結されている平面を計測することで、平面と軸方向とが決められた角度（例えば垂直）になるよう制御する作業を実現することができる。すなわち、目標位置における目標姿勢を求めることができる。このように目標位置と目標姿勢を求め、ロボットを制御することで、ロボットがエンドエフェクタであるドライバをネジに対して概略垂直に当ててネジを安定的に外すことができる。すなわち、ロボットによるタスクを安定的に行うことができる。

【００６１】

〔装置の構成〕

図１０のブロック図により第２の実施形態の制御装置２００を備えるロボットシステム２０００の装置例を示す。ロボットシステム２０００は、撮像装置１と、ロボットアーム２と、エンドエフェクタ３と、光投射装置４と、制御装置２００とを備える。なお、撮像装置１、ロボットアーム２、エンドエフェクタ３は、第１の実施形態と略同様であるため、説明を省略する。

【００６２】

光投射装置４は、平面計測をする対象に特徴となる光を投射する装置である。たとえば、光投射装置４は、十字のラインレーザ光を投射するクロスラインレーザ投射機で構成され、制御部１０６から受け取った投射トリガによってレーザ光を投射する。

10

20

30

40

50

【0063】

制御装置200は、画像取得部101と、軸方向取得部102と、目標位置検出部103と、平面計測部201と、動作生成部202と、終了判断部105と、制御部106とを備える。なお、画像取得部101、軸方向取得部102、目標位置検出部103、終了判断部105、制御部106は、第1の実施形態と略同様であるため、説明を省略する。

【0064】

平面計測部201は、画像取得部101から、レーザ光が投射された画像データを受け取り、画像データから平面の3次元の法線を検出し、目標平面のデータ（法線データ）を動作生成部202に送る。

【0065】

動作生成部202は、軸方向取得部102、目標位置検出部103および平面計測部201から受け取った軸方向データ、目標位置データおよび法線データに基づいて、ロボットアーム2の先端部の動作を規定する位置姿勢を計算する。そして、計算した位置姿勢データを制御部106に送る。

【0066】

〔制御処理〕

図11のフローチャートにより第2の実施形態の制御装置200およびロボットシステム2000による制御処理方法を説明する。ステップS101～ステップS105、ステップS107～S111は、それぞれ第1の実施形態と略同様であるため、説明を省略する。

【0067】

（ステップS201）

ステップS201では、光投射装置4が、制御部106から投射トリガを受け取り、レーザ光を投射する。これにより、特徴のない平面でも安定して撮像装置1であるステレオカメラにより平面計測ができる。

【0068】

（ステップS202）

ステップS202では、撮像装置1が、制御部106から撮像トリガを受け取り、撮像を行い、撮像した画像信号を画像取得部101に送る。

【0069】

（ステップS203）

ステップS203では、画像取得部101が、撮像装置1から画像信号を受け取り、平面計測部201に画像データを送る。

【0070】

（ステップS204）

ステップS204では、平面計測部201が、画像取得部101から画像データを受け取り、画像データから平面の法線を検出し、法線データを動作生成部202に送る。法線の検出は、たとえば、撮像装置1であるステレオカメラの左右の画像に基づいて、ステレオマッチングにより画像に投射されたレーザ領域の3次元点群を計測する。平面計測部201が、計測した3次元点群を主成分分析した第3主成分を計算することで、平面の法線を検出する。

【0071】

（ステップS205）

ステップS205では、動作生成部202が、軸方向取得部102、目標位置検出部103および平面計測部201から軸方向データ、目標位置データおよび法線データを受け取り、ロボットアーム2の先端部の動作を規定する位置姿勢を計算する。また、動作生成部202が位置姿勢データを制御部106に送る。

【0072】

以下、動作生成の一例を説明する。本実施形態では、ネジが締結されている平面に対して、エンドエフェクタ3であるドライバの軸をおおよそ垂直に当てるように制御する。エ

10

20

30

40

50

ンドエフェクタ座標系 4 4 をロボット座標系 4 1 で表すと、式 8 となる。

【 0 0 7 3 】

【数 8】

$$H_r = Q \cdot G \cdot H \quad \dots (8)$$

【 0 0 7 4 】

また、撮像装置座標系 4 3 で計測した平面姿勢 O をロボット座標系 4 1 で表すと、式 9 となる。

【 0 0 7 5 】

【数 9】

$$H_p = Q \cdot G \cdot O \quad \dots (9)$$

【 0 0 7 6 】

ドライバ軸を平面に対して垂直に当てるように制御するため、エンドエフェクタ座標系 4 4 の位置成分はそのままに、姿勢成分の z 軸を平面の法線とおおよそ一致させる。平面の法線を目標姿勢として、姿勢成分の z 軸方向が目標姿勢となるよう求めたドライバ位置姿勢を初期位置姿勢として第 1 の実施形態と略同様の動作生成を行う。

【 0 0 7 7 】

このようにすることで、エンドエフェクタ 3 を前進させたときに、ネジが締結されている平面に対して、エンドエフェクタ 3 であるドライバの軸をおおよそ垂直に当てるように制御できる。なお、本実施形態では、平面計測部 2 0 1 が、S 1 0 1 の初期化後に 1 度だけ平面計測を行ったが、これに限る必要はない。平面計測部 2 0 1 が、S 2 0 5 である動作生成の直前に平面計測を行ってもよいし、平面計測部 2 0 1 および動作生成部 2 0 2 が S 1 1 0 であるタスク実行直前に平面計測および動作生成を再度行ってもよい。

【 0 0 7 8 】

[効果]

本実施形態によれば、平面計測をすることで、制御対象に関連付けられた軸方向と平面との角度を制御するようビジュアルサーボを実行できる。その結果、目標位置における制御対象の姿勢が重要なタスクを実現できる。

【 0 0 7 9 】

[第 2 の実施形態の変形例 1]

S 2 0 4 においてレーザ光が投影された画像を用いて平面計測を行ったが、これに限る必要はない。たとえば、平面にある模様を使ってもよいし、プロジェクタによってパターンを投影してもよいし、撮像装置 1 として Depth カメラを用いてもよい。

【 0 0 8 0 】

(第 3 の実施形態)

第 3 の実施形態では、第 1 の実施形態と同様に、ロボットに取り付けた撮像装置で、制御対象と目標位置とを撮像し、制御対象を目標位置まで誘導する。ただし、第 3 の実施形態では、誘導した結果をキャリブレーション値に反映する点で第 1 の実施形態と異なる。ここで、キャリブレーション値とは、撮像装置 1 とロボットアーム 2 とエンドエフェクタ 3 との位置姿勢関係を表すパラメータのことである。キャリブレーション値の誤差が大きいかほどビジュアルサーボの動作収束に時間がかかるが、本実施形態の方法を用いることで素早く収束させることができる。

【 0 0 8 1 】

[装置の構成]

10

20

30

40

50

図 1 2 のブロック図により第 3 の実施形態の制御装置 3 0 0 を備えるロボットシステム 3 0 0 0 の装置例を示す。ロボットシステム 3 0 0 0 は、撮像装置 1 と、ロボットアーム 2 と、エンドエフェクタ 3 と、制御装置 3 0 0 とを備える。なお、撮像装置 1、ロボットアーム 2、エンドエフェクタ 3 は、第 1 の実施形態と略同様であるため、説明を省略する。

【 0 0 8 2 】

制御装置 3 0 0 は、画像取得部 1 0 1 と、軸方向取得部 1 0 2 と、目標位置検出部 1 0 3 と、動作生成部 3 0 1 と、キャリブレーション値補正部 3 0 2 と、キャリブレーション値保存部 3 0 3 と、終了判断部 1 0 5 と、制御部 1 0 6 とを備える。なお、画像取得部 1 0 1、軸方向取得部 1 0 2、目標位置検出部 1 0 3、終了判断部 1 0 5、制御部 1 0 6 は、第 1 の実施形態と略同様であるため、説明を省略する。

10

【 0 0 8 3 】

動作生成部 3 0 1 は、軸方向取得部 1 0 2、目標位置検出部 1 0 3 およびキャリブレーション値保存部 3 0 3 から受け取った軸方向データ、目標位置データおよびキャリブレーション値に基づいてロボットアーム 2 の先端部の動作を規定する位置姿勢を計算する。そして、位置姿勢データを制御部 1 0 6 およびキャリブレーション値補正部 3 0 2 に送る。

【 0 0 8 4 】

キャリブレーション値補正部 3 0 2 は、動作生成部 3 0 1 から位置姿勢データを受け取り、キャリブレーション値を補正し、補正したキャリブレーション値をキャリブレーション値保存部 3 0 3 に送る。

【 0 0 8 5 】

20

キャリブレーション値保存部 3 0 3 は、キャリブレーション値補正部 3 0 2 からキャリブレーション値を受け取り、保存する。また、キャリブレーション値保存部 3 0 3 は、動作生成部 3 0 1 にキャリブレーション値を送る。たとえば、キャリブレーション値保存部 3 0 3 はメモリから構成される。

【 0 0 8 6 】

[制御処理]

図 1 3 のフローチャートにより第 3 の実施形態の制御装置 3 0 0 およびロボットシステム 3 0 0 0 による制御処理方法を説明する。ステップ S 1 0 1 ~ ステップ S 1 0 5、ステップ S 1 0 7 ~ S 1 1 1 は、それぞれ第 1 の実施形態と略同様であるため、説明を省略する。

30

【 0 0 8 7 】

(ステップ S 3 0 1)

ステップ S 3 0 1 では、動作生成部 3 0 1 が、軸方向取得部 1 0 2、目標位置検出部 1 0 3 およびキャリブレーション値保存部 3 0 3 から軸方向データ、目標位置データおよびキャリブレーション値を受け取る。動作生成部 3 0 1 は受け取ったキャリブレーション値を用いて実施形態 1 と略同様にロボットアーム 2 の先端部の動作を規定する位置姿勢を計算する。また、動作生成部 3 0 1 が位置姿勢データを制御部 1 0 6 およびキャリブレーション値補正部 3 0 2 に送る。

【 0 0 8 8 】

(ステップ S 3 0 2)

40

ステップ S 3 0 2 では、キャリブレーション値補正部 3 0 2 が、動作生成部 3 0 1 から動作生成部 3 0 1 により生成された結果 (位置姿勢データ) を受け取り、キャリブレーション値の補正を行う。そして、補正したキャリブレーション値をキャリブレーション値保存部 3 0 3 に送る。ビジュアルサーボを実行している中でキャリブレーション値の補正を行うことで、徐々に誤差を低減していくことができる。補正するキャリブレーション値は、ロボットアーム 2 の先端部と撮像装置 1 であるカメラとの位置姿勢の関係性を表す変換行列 G でもよいし、撮像装置 1 であるカメラとエンドエフェクタ 3 であるドライバとの位置姿勢の関係性を表す変換行列 H でもよい。本実施形態では、変換行列 G を補正する。補正後の変換行列を G' とすると、式 5 より式 1 0 が成り立つ。

【 0 0 8 9 】

50

【数 1 0】

$$Q' \cdot G \cdot H = Q \cdot G \cdot H \cdot H' = Q \cdot G' \cdot H$$

$$G' = Q^{-1} \cdot Q' \cdot G \quad \dots (10)$$

【 0 0 9 0】

(ステップ S 3 0 3)

ステップ S 3 0 3 では、キャリブレーション値保存部 3 0 3 が、キャリブレーション値補正部 3 0 2 から補正されたキャリブレーション値を受け取り保存する。

10

【 0 0 9 1】

[効果]

本実施形態によれば、制御対象を制御すると同時にキャリブレーション値を補正することで、キャリブレーション値の誤差を徐々に小さくできる。その結果、次のビジュアルサーボ実行時にはより素早く制御を終了することができる。

【 0 0 9 2】

[第 3 の実施形態の変形例 1]

S 3 0 3 においてキャリブレーション値のみを保存したが、これに限る必要はない。たとえば、現在のロボット位置姿勢とキャリブレーション値との組を保存してもよいし、指示作業により設定した初期位置姿勢の ID とキャリブレーション値との組を保存してもよい。これにより、ロボットの位置姿勢に依存するようなキャリブレーション誤差が存在する場合でも、各位置姿勢において誤差を低減することができる。

20

【 0 0 9 3】

[ハードウェア構成]

図 2、図 1 0、図 1 2 に示した制御装置 1 0 0、2 0 0、3 0 0 は、一般の P C (パーソナルコンピュータ) を用いて実現することができる。制御装置 1 0 0、2 0 0、3 0 0 において各部の機能を P C の C P U に実行させるためのコンピュータプログラムやデータをハードディスク装置に格納しておく。C P U は、ハードディスク装置に格納されているコンピュータプログラムやデータを適宜 R A M 等のメモリにロードし、該コンピュータプログラムやデータを用いて処理を実行できる。これにより、結果として P C は、制御装置 1 0 0、2 0 0、3 0 0 の機能を実現することができる。

30

【 0 0 9 4】

[その他の変形例 1]

すべての実施形態において、撮像装置 1 として 2 台のグレースケールカメラを用いたが、これに限る必要はない。3 台以上のグレースケールカメラを用いてもよいし、R G B のカラーカメラを用いてもよいし、Depthカメラを用いてもよい。

【 0 0 9 5】

[その他の変形例 2]

すべての実施形態において、ロボットアーム 2 として 6 軸ロボットを用いたが、これに限る必要はない。その他の多関節ロボットやパラレルリンクロボットでもよいし、直交ロボットでもよい。

40

【 0 0 9 6】

[その他の変形例 3]

第 1 の実施形態において、エンドエフェクタ 3 であるドライバとネジとの接触の検知に近接センサを用いたが、これに限る必要はない。画像に基づいて検知してもよいし、距離センサを用いてもよいし、力覚センサを用いてもよい。

【 0 0 9 7】

< 実施形態の効果 >

第 1 の実施形態によれば、画像中の軸方向および目標位置からビジュアルサーボによる

50

ロボット制御を実現することができる。その結果、キャリブレーション作業の負荷を低減しながら、画像から十分に特徴を抽出できない場合においても、高精度にタスクを実行できる。

【 0 0 9 8 】

第2の実施形態によれば、平面計測をすることで、制御対象に関連付けられた軸方向と平面との角度を制御するようビジュアルサーボを実行できる。その結果、目標位置における制御対象の姿勢が重要なタスクを実現できる。

【 0 0 9 9 】

第3の実施形態によれば、制御対象を制御すると同時にキャリブレーション値を補正することで、キャリブレーション値の誤差を徐々に小さくできる。その結果、次のビジュアルサーボ実行時にはより素早く制御を終了することができる。

【 0 1 0 0 】

< 定義 >

目標位置とはエンドエフェクタがタスクを実行する位置のことである。軸方向とは、制御対象と目標位置との位置姿勢関係を測るための制御対象に関連付けられた画像中の線分のことである。タスク動作とは、ロボットアーム及びエンドエフェクタを、事前に設定された動きで制御することである。動作パラメータとは、制御対象の制御量の成分のことである。キャリブレーション値とは、撮像装置とロボットアームとエンドエフェクタとの位置姿勢関係を表すパラメータのことである。

【 0 1 0 1 】

(その他の実施形態)

本発明は、上述の実施形態の1以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける1つ以上のプロセッサがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、1以上の機能を実現する回路(例えば、ASIC)によっても実現可能である。

【 符号の説明 】

【 0 1 0 2 】

1 0 0 0 : ロボットシステム、 1 : 撮像装置、 2 : ロボットアーム、 3 : エンドエフェクタ、 1 0 0 : 制御装置、 1 0 1 : 画像取得部、 1 0 2 : 軸方向取得部、 1 0 3 : 目標位置検出部、 1 0 4 : 動作生成部、 1 0 5 : 終了判断部、 1 0 6 : 制御部

10

20

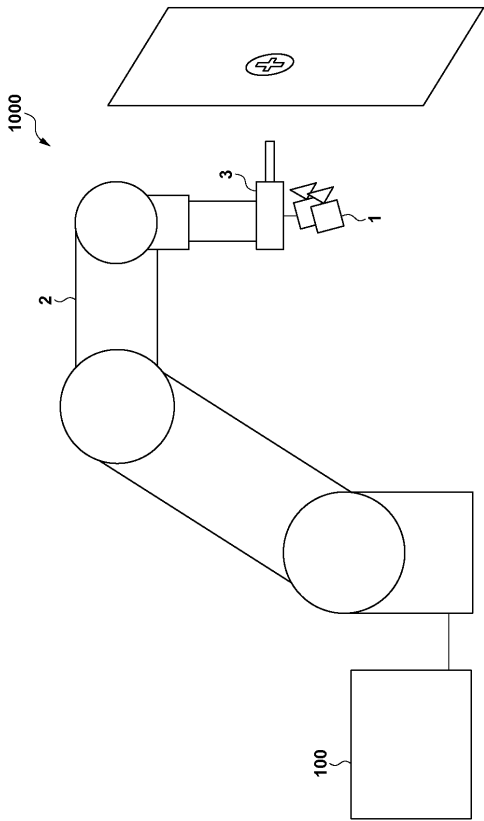
30

40

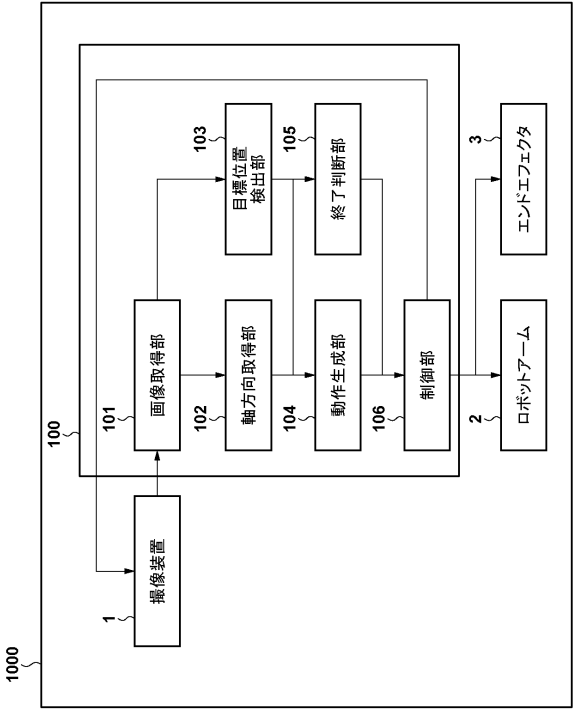
50

【図面】

【図 1】



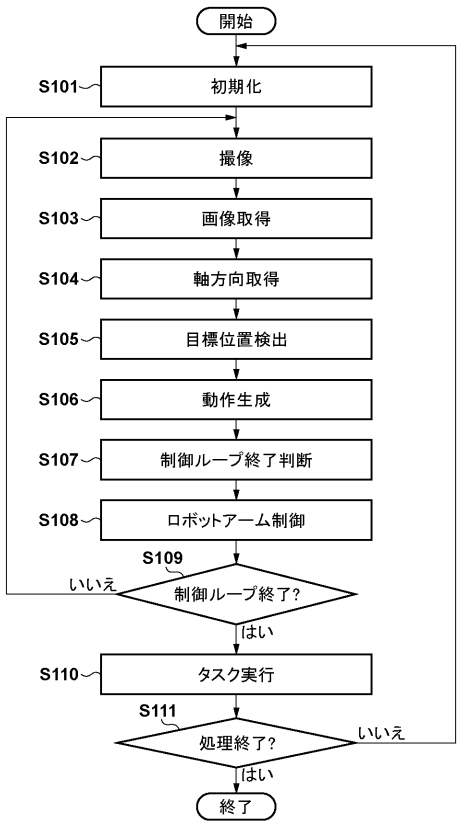
【図 2】



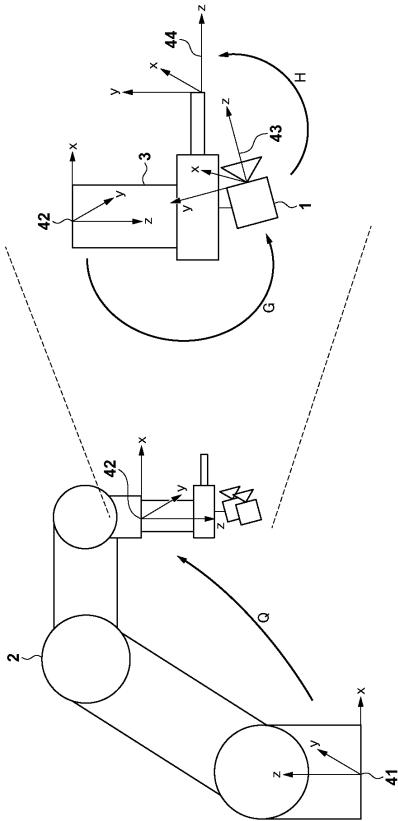
10

20

【図 3】



【図 4】

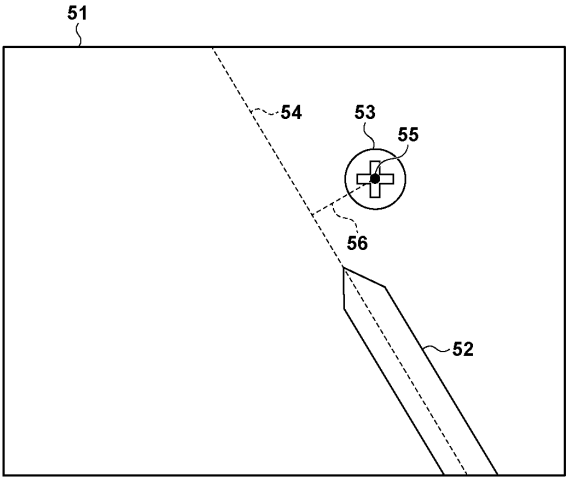


30

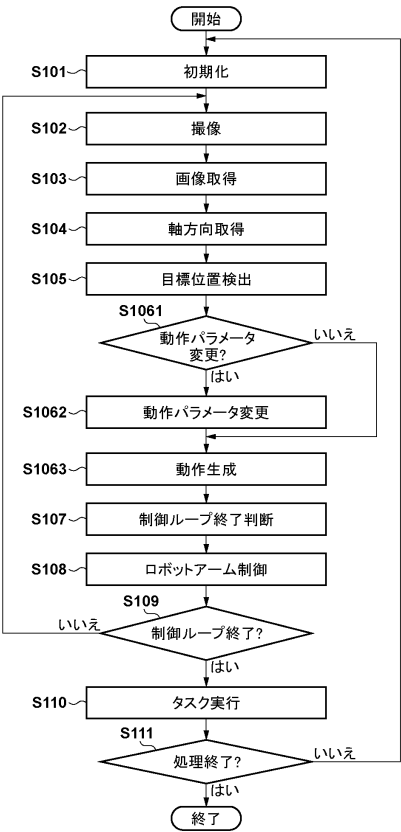
40

50

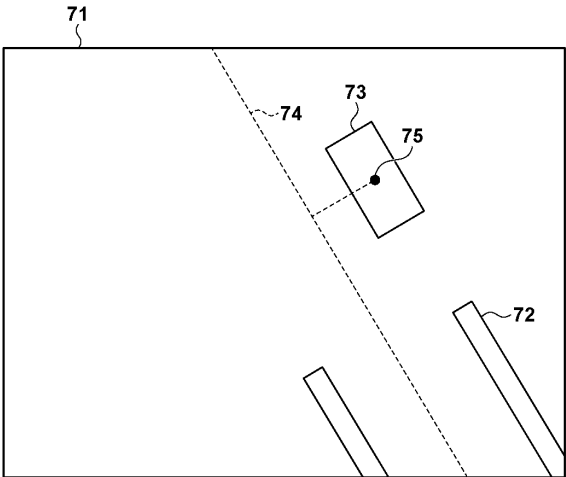
【図 5】



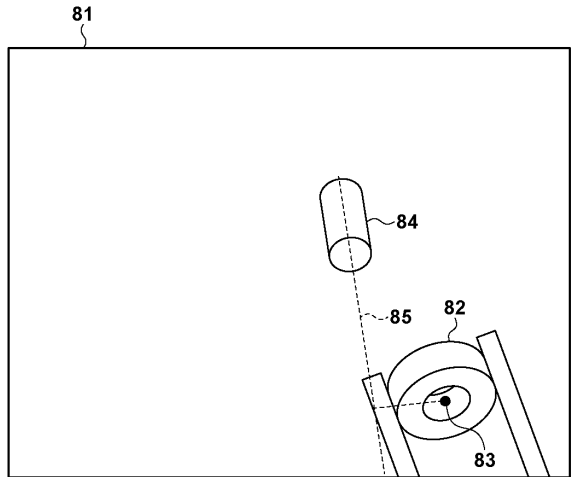
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

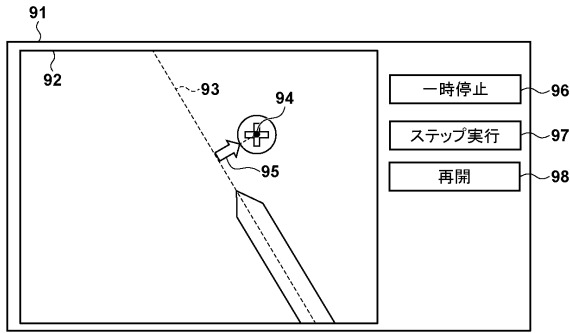
20

30

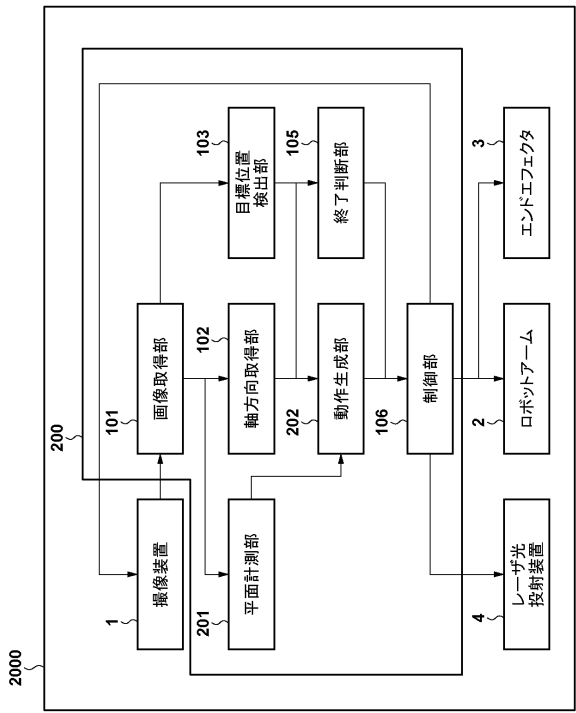
40

50

【図 9】



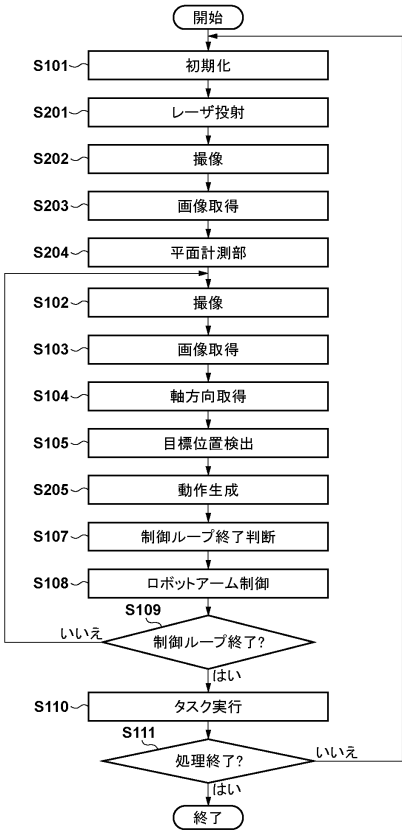
【図 10】



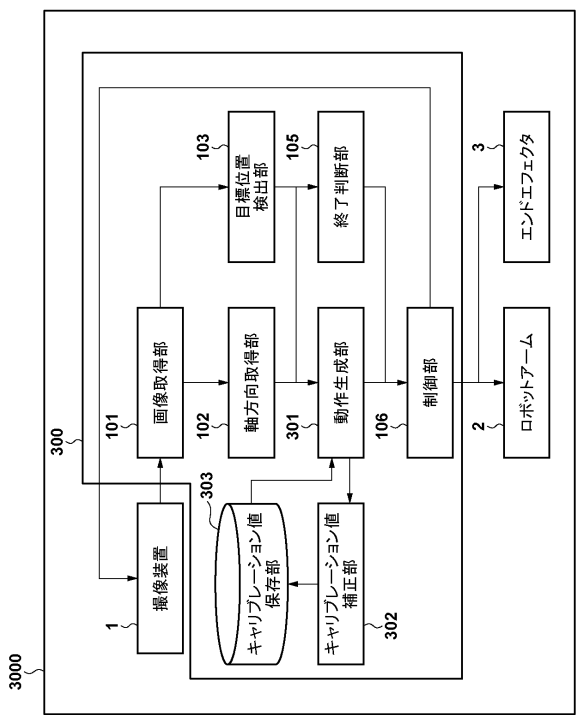
10

20

【図 11】



【図 12】

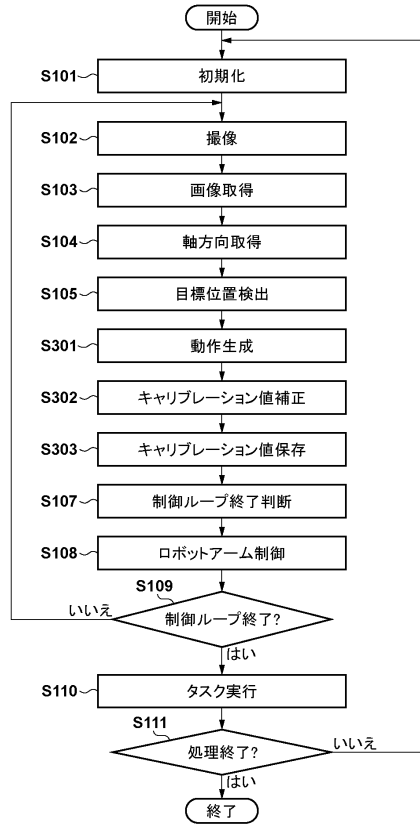


30

40

50

【図 13】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第 2 0 1 1 / 0 0 1 5 6 9 (W O , A 1)
 特開 2 0 1 6 - 1 5 9 4 0 6 (J P , A)
 特開 2 0 1 4 - 1 6 1 9 5 0 (J P , A)
 特開昭 6 1 - 2 7 9 4 8 1 (J P , A)
 特開平 0 9 - 0 7 6 1 8 5 (J P , A)
 特開 2 0 0 6 - 3 3 1 2 5 5 (J P , A)
 特開 2 0 1 5 - 0 0 0 4 5 4 (J P , A)
 特開 2 0 1 5 - 1 1 2 6 8 8 (J P , A)
 特開 2 0 1 6 - 0 0 0 4 4 2 (J P , A)
 特開 2 0 0 9 - 2 8 5 7 7 8 (J P , A)
 米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 2 4 3 7 0 4 (U S , A 1)
 米国特許出願公開第 2 0 1 7 / 0 1 5 4 2 1 9 (U S , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
 B 2 5 J 3 / 0 0 - 1 9 / 0 4