

(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2014-151377

(P2014-151377A)

(43) 公開日 平成26年8月25日(2014.8.25)

(51) Int.Cl.
B25J 13/08 (2006.01)F I
B25J 13/08テーマコード (参考)
3C707

審査請求 未請求 請求項の数 31 O L (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2013-21117 (P2013-21117)
(22) 出願日 平成25年2月6日(2013.2.6)(71) 出願人 000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(74) 代理人 100095728
弁理士 上柳 雅誉
(74) 代理人 100127661
弁理士 宮坂 一彦
(74) 代理人 100116665
弁理士 渡辺 和昭
(72) 発明者 相磯 政司
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
Fターム(参考) 3C707 AS07 BS26 KS03 KS04 KS33
KT03 KT05 KT06 KX06 LU09
LV15 LV17

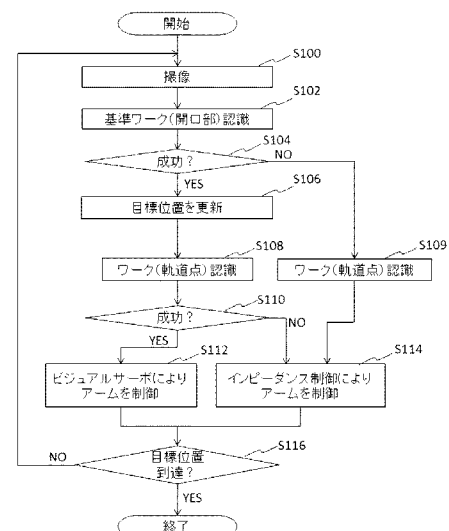
(54) 【発明の名称】 ロボット制御方法、ロボット制御装置、ロボットシステム、ロボット及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

【解決手段】第1の物体と、エンドエフェクターが保持する第2の物体とを含む画像を取得して、第1の物体の表面の任意の位置である第1の位置及び第2の物体の表面の任意の位置である第2の位置を認識する。第1の位置及び第2の位置が認識できたか否かを判断し、判断結果に基づいて第2の位置を第1の位置から第1の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第3の位置に近づけるように、エンドエフェクターが先端に設けられた可動部を制御する。ここで、第1の位置及び第2の位置が認識できたときは、第1の位置及び第2の位置の認識結果に基づいて可動部を制御し、第1の位置及び第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、エンドエフェクターに加わる力を取得し、取得したエンドエフェクターに加わる力に基づいて可動部を制御する。

【選択図】図5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

第 1 の物体と、エンドエフェクターが保持する第 2 の物体とを含む画像を取得する第 1 のステップと、

前記取得した画像から、前記第 1 の物体の表面の任意の位置である第 1 の位置及び前記第 2 の物体の表面の任意の位置である第 2 の位置を認識する第 2 のステップと、

前記第 2 のステップで前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置が認識できたか否かを判断する第 3 のステップと、

前記第 3 のステップの判断結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第 2 の位置を前記第 1 の位置から前記第 1 の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第 3 の位置に近づけるように、前記エンドエフェクターが先端に設けられた可動部を制御する第 4 のステップと、を有し、

前記第 4 のステップは、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置が認識できたときは、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の認識結果に基づいて前記可動部を制御し、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記エンドエフェクターに加わる力を取得し、当該取得した前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する

ことを特徴とするロボット制御方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のロボット制御方法において、

前記第 4 のステップでは、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、インピーダンス制御により前記可動部を制御する

ことを特徴とするロボット制御方法。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載のロボット制御方法において、

前記第 4 のステップでは、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置が認識できたときは、前記第 2 の位置が第 1 の量だけ移動するように前記可動部を制御し、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記第 2 の位置が前記第 1 の量より小さい第 2 の量だけ移動するように前記可動部を制御する

ことを特徴とするロボット制御方法。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載のロボット制御方法において、

前記第 3 のステップにおいて、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が前記画像に含まれていない場合、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が前記画像の任意の範囲内に含まれていない場合、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が画像処理により認識できなかった場合、及び、前記第 1 の位置と前記第 2 の位置との位置関係が設定された範囲外である場合の少なくとも 1 つである

ことを特徴とするロボット制御方法。

【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載のロボット制御方法において、

前記第 1 のステップでは、前記画像を取得するステップは、前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体を異なる方向から撮像した 2 枚の画像を取得し、

前記第 4 のステップでは、前記 2 枚の画像の少なくとも 1 枚から前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が認識できなかった場合には、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が認識できなかったときであるとして前記可動部を制御する

ことを特徴とするロボット制御方法。

【請求項 6】

請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載のロボット制御方法において、

前記第 4 のステップでは、前記第 2 の位置から前記所定の距離だけ前記第 2 の物体の内

10

20

30

40

50

側へ向かう方向へ移動させることにより前記第 3 の位置を算出し、当該算出された第 3 の位置へ前記第 2 の位置を近づけるように前記可動部を制御する

ことを特徴とするロボット制御方法。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載のロボット制御方法において、

前記第 4 のステップでは、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置が認識できたときは、前記認識結果から前記第 2 の位置を求め、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の移動量に基づいて前記第 2 の位置を求めることを特徴とするロボット制御方法。

【請求項 8】

第 1 の物体と、エンドエフェクターが保持する第 2 の物体とを含む画像を取得する画像取得部と、

前記取得した画像から、前記第 1 の物体の表面の任意の位置である第 1 の位置及び前記第 2 の物体の表面の任意の位置である第 2 の位置を認識する画像処理部と、

前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の認識結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第 2 の位置を前記第 1 の位置から前記第 1 の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第 3 の位置に近づけるように前記エンドエフェクターが先端に設けられた可動部を制御する制御部であって、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置が認識できたときは、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の認識結果に基づいて、前記可動部を制御し、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて前記可動部を制御する制御部と、

を備えることを特徴とするロボット制御装置。

【請求項 9】

画像を取得する画像取得部と、

前記画像から第 1 の物体及びエンドエフェクターが保持する第 2 の物体を認識する画像処理部と、

前記画像処理部の認識結果に基づいて、前記第 2 の物体の位置を前記第 1 の物体の位置から所定の距離だけ離れた目標位置に近づけるように、前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記画像処理部が前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体を認識できたときは、前記第 1 の物体の位置及び前記第 2 の物体の位置に基づいて、前記エンドエフェクターの位置を制御し、前記画像処理部が前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体の少なくとも一方を認識できなかったときは、前記エンドエフェクターに加わる力を取得し、当該取得した力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御することを特徴とするロボット制御装置。

【請求項 10】

可動部及び前記可動部の先端に設けられたエンドエフェクターを有するロボットと、

第 1 の物体と、前記可動部が保持する第 2 の物体とを含む画像を撮像する撮像部と、

前記第 1 の物体の表面の任意の位置である第 1 の位置及び前記第 2 の物体の表面の任意の位置である第 2 の位置を認識する画像処理部と、

前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の認識結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第 2 の位置を前記第 1 の位置から前記第 1 の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第 3 の位置に近づけるように前記可動部を制御する制御部であって、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置が認識できたときは、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の認識結果に基づいて、前記可動部を制御し、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて前記可動部を制御する制御部と、

を備えることを特徴とするロボットシステム。

【請求項 11】

請求項 10 に記載のロボットシステムにおいて、

前記撮像部は、前記第 1 の物体と前記第 2 の物体とを異なる方向から撮像する 2 つの撮像装置を有し、

前記画像処理部は、前記 2 つの撮像装置のそれぞれで撮像された 2 枚の画像から前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置を認識し、かつ、前記 2 つの撮像装置の少なくとも 1 つで撮像された画像から前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が認識できなかった場合は、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が認識できなかった場合とする

ことを特徴とするロボットシステム。

【請求項 12】

10

エンドエフェクターを有するロボットと、

画像を取得する画像取得部と、

前記画像から第 1 の物体及び前記エンドエフェクターが保持する第 2 の物体を認識する画像処理部と、

前記画像処理部の認識結果に基づいて、前記第 2 の物体の位置を前記第 1 の物体の位置から所定の距離だけ離れた目標位置に近づけるように、前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記画像処理部が前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体を認識できたときは、前記第 1 の物体の位置及び前記第 2 の物体の位置に基づいて、前記エンドエフェクターの位置を制御し、前記画像処理部が前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体の少なくとも一方を認識できなかったときは、前記エンドエフェクターに加わる力を取得し、当該取得した力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御することを特徴とするロボットシステム。

20

【請求項 13】

第 1 の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部を有するロボットと、

レンズを有する撮像部と、

前記撮像部による前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体の撮像結果に基づいて前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記レンズと前記第 1 の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第 2 の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する

30

ことを特徴とするロボットシステム。

【請求項 14】

第 1 の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部を有するロボットと、

レンズを有する撮像部と、

前記撮像部による前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体の撮像結果に基づいて前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記レンズと前記第 2 の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第 1 の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する

40

ことを特徴とするロボットシステム。

【請求項 15】

請求項 13 又は 14 に記載のロボットシステムにおいて、

前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させる

ことを特徴とするロボットシステム。

【請求項 16】

50

請求項 13 又は 14 に記載のロボットシステムにおいて、

前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受けないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させる

ことを特徴とするロボットシステム。

【請求項 17】

撮像部と、

第 1 の物体を保持するエンドエフェクターを有するロボットと、

前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づけるように前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、

10

前記制御部は、前記撮像部の撮像方向において前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっていない場合には、前記撮像部の撮像結果に基づいて前記エンドエフェクターを制御し、前記撮像部の撮像方向において前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっている場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターを制御する

ことを特徴とするロボットシステム。

【請求項 18】

請求項 17 に記載のロボットシステムにおいて、

前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させる

20

ことを特徴とするロボットシステム。

【請求項 19】

請求項 17 に記載のロボットシステムにおいて、

前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受けないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させる

30

ことを特徴とするロボットシステム。

【請求項 20】

撮像部と、第 1 の物体を保持するエンドエフェクターを有するロボットと、を備え、

前記撮像部の撮像方向において、前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっていない場合、前記撮像部の撮像結果に基づいて前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づける工程と、

前記撮像部の撮像方向において、前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっている場合、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御する工程と、

を有することを特徴とするロボットシステム。

【請求項 21】

可動部と、

40

前記可動部の先端に設けられたエンドエフェクターと、

第 1 の物体と、前記エンドエフェクターが保持する第 2 の物体とを含む画像を取得する画像取得部と、

前記第 1 の物体の表面の任意の位置である第 1 の位置及び前記第 2 の物体の表面の任意の位置である第 2 の位置を認識する画像処理部と、

前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の認識結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第 2 の位置を前記第 1 の位置から前記第 1 の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第 3 の位置に近づけるように前記可動部を制御する制御部であって、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置が認識できたときは、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の認識結果に基づいて、前記可動部を制御し、前記第 1 の位置及び前記第 2 の位置の少なくとも一方が認識で

50

きなかったときは、前記可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて前記可動部を制御する制御部と、

を備えることを特徴とするロボット。

【請求項 2 2】

請求項 2 1 に記載のロボットにおいて、

前記可動部を 2 つ備え、

前記 2 つの可動部のうちの 1 つが前記第 2 の物体を保持し、前記 2 つの可動部のうちの他の 1 つが前記第 1 の物体を保持する

ことを特徴とするロボット。

【請求項 2 3】

エンドエフェクターと、

画像を取得する画像取得部と、

前記画像から第 1 の物体及び前記エンドエフェクターが保持する第 2 の物体を認識する画像処理部と、

前記画像処理部の認識結果に基づいて、前記第 2 の物体の位置を前記第 1 の物体の位置から所定の距離だけ離れた目標位置に近づけるように、前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記画像処理部が前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体を認識できたときは、前記第 1 の物体の位置及び前記第 2 の物体の位置に基づいて、前記エンドエフェクターの位置を制御し、前記画像処理部が前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体の少なくとも一方を認識できなかったときは、前記エンドエフェクターに加わる力を取得し、当該取得した力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御することを特徴とするロボット。

【請求項 2 4】

レンズを有する撮像部と、

第 1 の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部と、

前記撮像部による前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体の撮像結果に基づいて前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記レンズと前記第 1 の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第 2 の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する

ことを特徴とするロボット。

【請求項 2 5】

レンズを有する撮像部と、

第 1 の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部と、

前記撮像部による前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体の撮像結果に基づいて前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記レンズと前記第 2 の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第 1 の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する

ことを特徴とするロボット。

【請求項 2 6】

請求項 2 4 又は 2 5 に記載のロボットにおいて、

前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させる

ことを特徴とするロボット。

【請求項 2 7】

請求項 2 4 又は 2 5 に記載のロボットにおいて、

前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受け

10

20

30

40

50

ないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させる

ことを特徴とするロボット。

【請求項 28】

撮像部が撮像した画像を取得する画像取得部と、

第 1 の物体を保持するエンドエフェクターと、

前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づけるように前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、前記撮像部の撮像方向において前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっていない場合には、前記取得した画像に基づいて前記エンドエフェクターを制御し、前記撮像部の撮像方向において前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっている場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターを制御することを特徴とするロボット。

10

【請求項 29】

請求項 28 に記載のロボットにおいて、

前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させる

ことを特徴とするロボット。

【請求項 30】

20

請求項 28 に記載のロボットにおいて、

前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受けないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させる

ことを特徴とするロボット。

【請求項 31】

撮像部が撮像した画像を取得する画像取得部と、第 1 の物体を保持するエンドエフェクターと、を備え、

前記撮像部の撮像方向において、前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっていない場合、前記取得した画像に基づいて前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づける工程と、

30

前記撮像部の撮像方向において、前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっている場合、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御する工程と、

を有することを特徴とするロボット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボット制御方法、ロボット制御装置、ロボットシステム、ロボット及びプログラムに関する。

40

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、ハンドが把持対象物を把持する直前あるいは直後において、前方カメラの撮像情報に基づいた制御から、側方カメラの撮像情報に基づいた制御に切り替えることが開示されている。

【0003】

特許文献 2 には、ワークの位置と姿勢をカメラで計測し、計測結果に基づいてロボットをフィードバック制御し、カメラをワークの移動に追従させるビジュアルサーボ制御と、ビジュアルサーボ制御中にワークがカメラの視野から外れた場合に、認識したワークの最終位置を基にカメラの目標位置と移動速度を変更してワークを再補足する再補足制御と、

50

を行うことが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2011-235386号公報

【特許文献2】特開2011-136377号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に記載の発明は、ハンドが把持対象物を把持する直前あるいは直後で前方カメラから側方カメラにカメラを切り替えるだけであり、ハンドが把持対象物を把持する直前も直後もビジュアルサーボを行っている。しかしながら、特許文献1に記載の発明では、側方カメラが把持対象物等を見失った場合についての対応については記載されていない。

10

【0006】

特許文献2に記載の発明は、ワークを見失った場合にもワークを再補足することができる。しかしながら、特許文献2に記載の発明では、ワークの再補足を行ってもワークを認識できない場合についての対応については記載されていない。

【0007】

というのは、特許文献1、2に記載の発明は、ビジュアルサーボにより、対象物を把持する可動部の制御を行うものであるからである。すなわち、特許文献1、2に記載の発明では、ワークや把持対象物が画像から認識できない場合というのは、考慮されていない。

20

【0008】

しかしながら、ビジュアルサーボの作業中に、ワークや把持対象物が画像から認識できなくなる場合が考えられる。ワークや把持対象物が画像から認識できない場合には、画像に基づいた制御はできなくなる。したがって、この場合には、一般的には、可動部を止める（作業停止）しかない。

【0009】

なお、ワークや把持対象物が画像から認識できない場合に、ワークや把持対象物が最後に認識できた位置にあると推定して作業を続行することも考えられる。しかしながら、この場合には、ワークや把持対象物の推定位置と実際の位置とが異なることにより、作業中にワークや把持対象物が破壊される可能性がある。

30

【0010】

そこで、本発明は、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができるロボット制御方法、ロボット制御装置、ロボットシステム、ロボット及びプログラ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】

【0011】

上記課題を解決するための第一の態様は、ロボット制御方法であって、第1の物体と、エンドエフェクターが保持する第2の物体とを含む画像を取得する第1のステップと、前記取得した画像から、前記第1の物体の表面の任意の位置である第1の位置及び前記第2の物体の表面の任意の位置である第2の位置を認識する第2のステップと、前記第2のステップで前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたか否かを判断する第3のステップと、前記第3のステップの判断結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第2の位置を前記第1の位置から前記第1の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第3の位置に近づけるように、前記エンドエフェクターが先端に設けられた可動部を制御する第4のステップと、を有し、前記第4のステップは、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて前記可動部を制御し、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて前記

40

50

可動部を制御することを特徴とする。

【0012】

第一の態様によれば、画像から第1の物体の表面の任意の位置である第1の位置及び第2の物体の表面の任意の位置である第2の位置が認識できた場合には、第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて可動部を制御し、画像から第1の位置又は第2の位置が認識できなかった場合は、可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて可動部を制御する。これにより、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。さらに、可動部の先端に加わる力に基づいて可動部を制御することで、画像から認識できない第3の位置に第2の位置を近づけるように可動部を制御することができる。

10

【0013】

ここで、前記第4のステップでは、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、インピーダンス制御により前記可動部を制御してもよい。これにより、第1の物体、第2の物体や可動部に外力がかかる場合においても、第1の物体や第2の物体を破壊することを防止しつつ、確実に可動部を移動させることができる。

【0014】

ここで、前記第4のステップでは、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記第2の位置が第1の量だけ移動するように前記可動部を制御し、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記第2の位置が前記第1の量より小さい第2の量だけ移動するように前記可動部を制御してもよい。これにより、対象物が画像から認識できない場合に、安全に可動部を移動させることができる。

20

【0015】

ここで、前記第3のステップにおいて、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が前記画像に含まれていない場合、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が前記画像の任意の範囲内に含まれていない場合、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が画像処理により認識できなかった場合、及び、前記第1の位置と前記第2の位置との位置関係が設定された範囲外である場合の少なくとも1つであってもよい。これにより、様々な状況に対応して作業を継続することができる。

【0016】

ここで、前記第1のステップでは、前記画像を取得するステップは、前記第1の物体及び前記第2の物体を異なる方向から撮像した2枚の画像を取得し、前記第4のステップでは、前記2枚の画像の少なくとも1枚から前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかった場合には、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときであるとして前記可動部を制御してもよい。これにより、より安全に作業を継続することができる。

30

【0017】

ここで、前記第4のステップでは、前記第2の位置から前記所定の距離だけ前記第2の物体の内側へ向かう方向へ移動させることにより前記第3の位置を算出し、当該算出された第3の位置へ前記第2の位置を近づけるように前記可動部を制御してもよい。これにより、第2の物体の内部にあって視認できない第3の位置へ可動部を制御することができる。

40

【0018】

ここで、前記第4のステップでは、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記認識結果から前記第2の位置を求め、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の移動量に基づいて前記第2の位置を求めてもよい。これにより、画像から第1の位置又は前記第2の位置が認識できなかった場合にも、第2の位置を求めることができる。

【0019】

上記課題を解決するための第二の態様は、ロボット制御装置であって、第1の物体と、

50

エンドエフェクターが保持する第2の物体とを含む画像を取得する画像取得部と、前記取得した画像から、前記第1の物体の表面の任意の位置である第1の位置及び前記第2の物体の表面の任意の位置である第2の位置を認識する画像処理部と、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第2の位置を前記第1の位置から前記第1の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第3の位置に近づけるように前記エンドエフェクターが先端に設けられた可動部を制御する制御部であって、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて、前記可動部を制御し、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて前記可動部を制御する制御部と、を備えることを特徴とする。これにより、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。さらに、可動部の先端に加わる力に基づいて可動部を制御することで、画像から認識できない第3の位置に第2の位置を近づけるように可動部を制御することができる。

10

【0020】

上記課題を解決するための第三の態様は、ロボット制御装置であって、画像を取得する画像取得部と、前記画像から第1の物体及びエンドエフェクターが保持する第2の物体を認識する画像処理部と、前記画像処理部の認識結果に基づいて、前記第2の物体の位置を前記第1の物体の位置から所定の距離だけ離れた目標位置に近づけるように、前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記画像処理部が前記第1の物体及び前記第2の物体を認識できたときは、前記第1の物体の位置及び前記第2の物体の位置に基づいて、前記エンドエフェクターの位置を制御し、前記画像処理部が前記第1の物体及び前記第2の物体の少なくとも一方を認識できなかったときは、前記エンドエフェクターに加わる力を取得し、当該取得した力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御することを特徴とする。これにより、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

20

【0021】

上記課題を解決するための第四の態様は、ロボットシステムであって、可動部及び前記可動部の先端に設けられたエンドエフェクターを有するロボットと、第1の物体と、前記可動部が保持する第2の物体とを含む画像を撮像する撮像部と、前記第1の物体の表面の任意の位置である第1の位置及び前記第2の物体の表面の任意の位置である第2の位置を認識する画像処理部と、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第2の位置を前記第1の位置から前記第1の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第3の位置に近づけるように前記可動部を制御する制御部であって、前記第1の位置及び前記第2の位置が認識できたときは、前記第1の位置及び前記第2の位置の認識結果に基づいて、前記可動部を制御し、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて前記可動部を制御する制御部と、を備えることを特徴とする。これにより、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

30

40

【0022】

ここで、前記撮像部は、前記第1の物体と前記第2の物体とを異なる方向から撮像する2つの撮像装置を有し、前記画像処理部は、前記2つの撮像装置のそれぞれで撮像された2枚の画像から前記第1の位置及び前記第2の位置を認識し、かつ、前記2つの撮像装置の少なくとも1つで撮像された画像から前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかった場合は、前記第1の位置及び前記第2の位置の少なくとも一方が認識できなかった場合としてもよい。これにより、より安全に作業を継続することができる。

【0023】

上記課題を解決するための第五の態様は、ロボットシステムであって、エンドエフェク

50

ターを有するロボットと、画像を取得する画像取得部と、前記画像から第１の物体及び前記エンドエフェクターが保持する第２の物体を認識する画像処理部と、前記画像処理部の認識結果に基づいて、前記第２の物体の位置を前記第１の物体の位置から所定の距離だけ離れた目標位置に近づけるように、前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記画像処理部が前記第１の物体及び前記第２の物体を認識できたときは、前記第１の物体の位置及び前記第２の物体の位置に基づいて、前記エンドエフェクターの位置を制御し、前記画像処理部が前記第１の物体及び前記第２の物体の少なくとも一方を認識できなかったときは、前記エンドエフェクターに加わる力を取得し、当該取得した力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御することを特徴とする。これにより、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

10

【００２４】

上記課題を解決するための第六の態様は、ロボットシステムであって、第１の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部を有するロボットと、レンズを有する撮像部と、前記撮像部による前記第１の物体及び前記第２の物体の撮像結果に基づいて前記第１の物体を第２の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記レンズと前記第１の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第２の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御することを特徴とする。これにより、レンズからみて第１の物体が他の物体と重なっている場合、すなわち画像上で第１の物体が他の物体に覆われている場合にも、安全に作業を継続することができる。

20

【００２５】

上記課題を解決するための第七の態様は、ロボットシステムであって、第１の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部を有するロボットと、レンズを有する撮像部と、前記撮像部による前記第１の物体及び前記第２の物体の撮像結果に基づいて前記第１の物体を第２の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記レンズと前記第２の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第１の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御することを特徴とする。これにより、レンズからみて第２の物体が他の物体と重なっている場合、すなわち画像上で第２の物体が他の物体に覆われている場合にも、安全に作業を継続することができる。

30

【００２６】

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させてもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

【００２７】

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受けないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させてもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

40

【００２８】

上記課題を解決するための第八の態様は、ロボットシステムであって、撮像部と、第１の物体を保持するエンドエフェクターを有するロボットと、前記第１の物体を第２の物体に近づけるように前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記撮像部の撮像方向において前記第１の物体及び前記第２の物体が重なっていない場合には、前記撮像部の撮像結果に基づいて前記エンドエフェクターを制御し、前記撮像部の撮像方向において前記第１の物体及び前記第２の物体が重なっている場合には、前

50

記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターを制御することを特徴とする。これにより、撮像部の撮像方向において第１の物体及び第２の物体が重なっている場合、すなわち画像上で第１の物体と第２の物体とが重なっている場合にも、安全に作業を継続することができる。

【００２９】

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させてもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

【００３０】

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受けないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させてもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

【００３１】

上記課題を解決するための第九の態様は、ロボットシステムであって、撮像部と、第１の物体を保持するエンドエフェクターを有するロボットと、を備え、前記撮像部の撮像方向において、前記第１の物体及び前記第２の物体が重なっていない場合、前記撮像部の撮像結果に基づいて前記第１の物体を第２の物体に近づける工程と、前記撮像部の撮像方向において、前記第１の物体及び前記第２の物体が重なっている場合、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御する工程と、を有することを特徴とする。これにより、撮像部の撮像方向において第１の物体及び第２の物体が重なっている場合、すなわち画像上で第１の物体と第２の物体とが重なっている場合にも、安全に作業を継続することができる。

【００３２】

上記課題を解決するための第十の態様は、ロボットであって、可動部と、前記可動部の先端に設けられたエンドエフェクターと、第１の物体と、前記エンドエフェクターが保持する第２の物体とを含む画像を取得する画像取得部と、前記第１の物体の表面の任意の位置である第１の位置及び前記第２の物体の表面の任意の位置である第２の位置を認識する画像処理部と、前記第１の位置及び前記第２の位置の認識結果に基づいて、異なる制御方法を用いて、前記第２の位置を前記第１の位置から前記第１の物体の内側へ所定の距離だけ離れた第３の位置に近づけるように前記可動部を制御する制御部であって、前記第１の位置及び前記第２の位置が認識できたときは、前記第１の位置及び前記第２の位置の認識結果に基づいて、前記可動部を制御し、前記第１の位置及び前記第２の位置の少なくとも一方が認識できなかったときは、前記可動部の先端に加わる力を取得し、当該取得した可動部の先端に加わる力に基づいて前記可動部を制御する制御部と、を備えることを特徴とする。これにより、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

【００３３】

ここで、前記可動部を２つ備え、前記２つの可動部のうちの１つが前記第２の物体を保持し、前記２つの可動部のうちの他の１つが前記第１の物体を保持してもよい。これにより、２つの可動部のそれぞれが保持する２つの対象物を組み合わせる等の作業を、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

【００３４】

上記課題を解決するための第十一の態様は、ロボットであって、エンドエフェクターと、画像を取得する画像取得部と、前記画像から第１の物体及び前記エンドエフェクターが保持する第２の物体を認識する画像処理部と、前記画像処理部の認識結果に基づいて、前

記第 2 の物体の位置を前記第 1 の物体の位置から所定の距離だけ離れた目標位置に近づけるように、前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記画像処理部が前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体を認識できたときは、前記第 1 の物体の位置及び前記第 2 の物体の位置に基づいて、前記エンドエフェクターの位置を制御し、前記画像処理部が前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体の少なくとも一方を認識できなかったときは、前記エンドエフェクターに加わる力を取得し、当該取得した力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御することを特徴とする。これにより、エンドエフェクターが保持する対象物が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

【 0 0 3 5 】

10

上記課題を解決するための第十二の態様は、ロボットであって、レンズを有する撮像部と、第 1 の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部と、前記撮像部による前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体の撮像結果に基づいて前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記レンズと前記第 1 の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第 2 の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御することを特徴とする。これにより、レンズから見て第 1 の物体が他の物体と重なっている、すなわち画像上で第 1 の物体が他の物体に覆われている場合にも、安全に作業を継続することができる。

【 0 0 3 6 】

20

上記課題を解決するための第十三の態様は、ロボットであって、レンズを有する撮像部と、第 1 の物体を保持するエンドエフェクターが先端に設けられた可動部と、前記撮像部による前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体の撮像結果に基づいて前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づけるように前記可動部を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記レンズと前記第 2 の物体とを仮想的に結んだ線上に前記第 1 の物体、前記エンドエフェクター又は前記可動部がある場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御することを特徴とする。これにより、レンズから見て第 2 の物体が他の物体と重なっている、すなわち画像上で第 2 の物体が他の物体に覆われている場合にも、安全に作業を継続することができる。

【 0 0 3 7 】

30

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させてもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

【 0 0 3 8 】

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受けないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させてもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

40

【 0 0 3 9 】

上記課題を解決するための第十四の態様は、ロボットであって、撮像部が撮像した画像を取得する取得部と、第 1 の物体を保持するエンドエフェクターと、前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づけるように前記エンドエフェクターの位置を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記撮像部の撮像方向において前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっていない場合には、前記取得した画像に基づいて前記エンドエフェクターを制御し、前記撮像部の撮像方向において前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっている場合には、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターを制御することを特徴とする。これにより、撮像部の撮像方向において第 1 の物体及び第 2 の物体が重な

50

っている場合、すなわち画像上で第 1 の物体と第 2 の物体とが重なっている場合にも、安全に作業を継続することができる。

【 0 0 4 0 】

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に、前記エンドエフェクターが受けた力に応じた移動速度及び安定性で前記エンドエフェクターを移動させてもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

【 0 0 4 1 】

ここで、前記制御部は、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記可動部を制御する場合、前記エンドエフェクターを移動させる方向以外の力を前記エンドエフェクターが受けないように、前記エンドエフェクターが受けた力の方向に前記エンドエフェクターを移動させてもよい。これにより、物体やロボットを破壊することを防止しつつ、ロボットに作業を行なわることができる。

【 0 0 4 2 】

上記課題を解決するための第十五の態様は、ロボットであって、撮像部と、第 1 の物体を保持するエンドエフェクターと、を備え、前記撮像部の撮像方向において、前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっていない場合、前記撮像部の撮像結果に基づいて前記第 1 の物体を第 2 の物体に近づける工程と、前記撮像部の撮像方向において、前記第 1 の物体及び前記第 2 の物体が重なっている場合、前記エンドエフェクターに加わる力に基づいて前記エンドエフェクターの位置を制御する工程と、を有することを特徴とする。これにより、撮像部の撮像方向において第 1 の物体及び第 2 の物体が重なっている場合、すなわち画像上で第 1 の物体と第 2 の物体とが重なっている場合にも、安全に作業を継続することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 3 】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態におけるロボットシステム 1 の構成の一例を示す図である。

【図 2】ロボットシステム 1 の機能構成の一例を示すブロック図である。

【図 3】可動部を駆動する処理の一例を説明する図である。

【図 4】ロボット制御部 20 のハードウェア構成の一例を示す図である。

【図 5】可動部を駆動する処理の流れの一例を示すフローチャートである。

【図 6】本発明の第 2 の実施形態におけるロボットシステム 2 の構成の一例を示す図である。

【図 7】本発明の第 1 の実施形態及び第 2 の実施の形態の変形例であり、ロボットと作業者とが同一の製品に対して順番に作業を行う場合に撮像部を天井に設ける形態である。

【図 8】本発明の第 1 の実施形態及び第 2 の実施の形態の変形例であり、ロボットが 1 つの生産セル内で作業を行う場合に撮像部を天井に設ける形態である。

【図 9】本発明の第 1 の実施形態及び第 2 の実施の形態の変形例であり、ロボットの頭に相当する部分に撮像部を設ける形態である。

【図 10】本発明の第 1 の実施形態及び第 2 の実施の形態の変形例であり、アームの先端に撮像部を設ける形態である。

【図 11】本発明の第 1 の実施形態及び第 2 の実施の形態の変形例であり、アームの先端に撮像部を設ける形態である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 4 4 】

本発明の一実施形態について、図面を参照しながら説明する。

【 0 0 4 5 】

< 第 1 の実施形態 >

図 1 は、本発明の一実施形態におけるロボットシステム 1 の構成の一例を示すシステム

10

20

30

40

50

構成図である。本実施形態におけるロボットシステム１は、主として、ロボット１０と、ロボット制御部２０と、第１撮像部３０と、第２撮像部４０とを備える。

【００４６】

ロボット１０は、複数のジョイント（関節）１２と、複数のリンク１３とを含むアーム１１（可動部に相当）を有するアーム型のロボットである。アーム１１の先端には、対象物（ワーク）を把持したり、道具を把持して対象物に対して所定の作業を行ったりすることが可能なハンド１４（いわゆるエンドエフェクター又は手先効果器）が設けられる。

【００４７】

ジョイント１２及びハンド１４には、それらを動作させるためのアクチュエーター（図示せず）が設けられる。アクチュエーターは、例えば、サーボモーターやエンコーダーなどを備える。エンコーダーが出力するエンコーダー値は、ロボット制御部２０によるロボット１０のフィードバック制御に使用される。

【００４８】

また、ハンド１４の内部又はアーム１１の先端等には、力覚センサー（図示せず）が設けられる。力覚センサーは、ハンド１４に加わる力を検出する。力覚センサーとしては、例えば、並進３軸方向の力成分と、回転３軸回りのモーメント成分の６成分を同時に検出することができる６軸力覚センサーを用いることができる。また、力覚センサーで使用される物理量は、電流、電圧、電荷量、インダクタンス、ひずみ、抵抗、電磁誘導、磁気、空気圧、光等である。力覚センサーは、所望の物理量を電気信号に変換することにより、６成分を検出可能である。なお、力覚センサーは、６軸に限らず、例えば３軸でもよい。また、力覚センサーを設ける位置は、ハンド１４に加わる力を検出できるのであれば、特に限定されるものではない。

【００４９】

なお、ロボット１０の構成は、本実施形態の特徴を説明するにあたって主要構成を説明したのであって、上記の構成に限られない。一般的な把持ロボットが備える構成を排除するものではない。例えば、図１では６軸のアームが示されているが、軸数（ジョイント数）をさらに増加させてもよいし、減らしてもよい。リンクの数を増減させてもよい。また、アーム、ハンド、リンク、ジョイント等の各種部材の形状、大きさ、配置、構造等も適宜変更してよい。また、エンドエフェクターはハンド１４に限られない。また、配置空間を作ることの出来るロボットであれば、どのような態様のロボット、例えば自走式のロボットにも適用することもできる。

【００５０】

ロボット制御部２０は、ロボット１０の全体を制御する処理を行う。ロボット制御部２０は、ロボット１０の本体とは離れた場所に設置してもよいし、ロボット１０等に内蔵してもよい。ロボット制御部２０がロボット１０の本体と離れた場所に設置されている場合には、ロボット制御部２０は、有線又は無線でロボット１０と接続される。

【００５１】

第１撮像部３０及び第２撮像部４０は、ロボット１０の作業領域付近をそれぞれ異なる角度から撮像して、画像データを生成するユニットである。第１撮像部３０及び第２撮像部４０は、例えば、カメラを含み、作業台、天井、壁などに設けられる。第１撮像部３０及び第２撮像部４０としては、可視光カメラ、赤外線カメラ等を採用することができる。第１撮像部３０及び第２撮像部４０は複数のレンズを有し、レンズの光軸に沿った所定の領域内の対象物の画像を取得する。

【００５２】

第１撮像部３０及び第２撮像部４０はロボット制御部２０に接続され、第１撮像部３０及び第２撮像部４０により撮像された画像はロボット制御部２０に入力される。なお、第１撮像部３０及び第２撮像部４０は、ロボット制御部２０ではなくロボット１０に接続されるようにしてもよいし、ロボット１０に内蔵されるようにしてもよい。この場合には、第１撮像部３０及び第２撮像部４０により撮像された画像は、ロボット１０を介してロボット制御部２０に入力される。

【 0 0 5 3 】

次に、ロボットシステム 1 の機能構成例について説明する。図 2 は、ロボット制御部 20 の機能ブロック図の一例である。

【 0 0 5 4 】

ロボット 10 は、アクチュエーターのエンコーダー値、及びセンサーのセンサー値等に基づいてアーム 11 及びハンド 14 を制御する動作制御部 101 を備える。

【 0 0 5 5 】

動作制御部 101 は、ロボット制御部 20 から出力された情報、アクチュエーターのエンコーダー値、及びセンサーのセンサー値等に基づいてアーム 11 及びハンド 14 を制御する。例えば、動作制御部 101 は、ロボット制御部 20 から出力された移動方向及び移動量でアーム 11 を移動させるように、アクチュエーターを駆動させる。本実施の形態では、ハンド 14 がワーク B (第 2 の物体に相当) を把持し、ワーク B の表面にある軌道点 B1 (第 2 の位置に相当) が基準ワーク A (第 1 の物体に相当) の表面にある目標位置 A1 (第 3 の位置に相当) に到達するように、動作制御部 101 がアーム 11 を駆動させる。

10

【 0 0 5 6 】

なお、本実施の形態では、基準ワーク A が床等に載置されているため、基準ワーク A を基準ワークとしている。しかしながら、基準ワークは制御の説明上、便宜的に定義したものである。基準ワークは、目標位置を定めることが可能な物体であればよく、特に限定されるものではない。また、この基準という表現は、ワークの形状、大きさ、位置等に関するものではない。

20

【 0 0 5 7 】

ロボット制御部 20 は、主として、画像取得部 200 と、画像処理部 201 と、目標位置算出部 203 と、制御部 205 と、サーボシステム 206 とを備える。また、画像処理部 201 は、基準ワーク認識部 202 と、ワーク認識部 204 とを有する。

【 0 0 5 8 】

画像取得部 200 は、第 1 撮像部 30 が撮像した画像 (以下、第 1 画像という) 及び第 2 撮像部 40 が撮像した画像 (以下、第 2 画像という) を取得する。画像取得部 200 が取得した第 1 画像及び第 2 画像は、画像処理部 201 に出力される。

【 0 0 5 9 】

画像処理部 201 は、画像取得部 200 から出力された第 1 画像及び第 2 画像から、基準ワーク A 及びワーク B を認識し、かつ目標位置 A1 及び軌道点 B1 を認識する。

30

【 0 0 6 0 】

ここで、第 1 画像及び第 2 画像から基準ワーク A 及びワーク B (目標位置 A1 及び軌道点 B1) が認識できる場合とは、第 1 撮像部 30 及び第 2 撮像部 40 のレンズと基準ワーク A 及びワーク B (目標位置 A1 及び軌道点 B1) とを結ぶ線上に他の物体 (基準ワーク A、ワーク B、アーム 11 等) が含まれない場合である。この場合には、レンズから見て基準ワーク A 及びワーク B (目標位置 A1 及び軌道点 B1) が他の物体と重なっておらず、第 1 画像及び第 2 画像に基準ワーク A 及びワーク B (目標位置 A1 及び軌道点 B1) が含まれている。

40

【 0 0 6 1 】

第 1 画像及び第 2 画像から基準ワーク A 及びワーク B (目標位置 A1 及び軌道点 B1) が認識できない場合とは、第 1 撮像部 30 及び第 2 撮像部 40 のレンズと基準ワーク A 及びワーク B (目標位置 A1 及び軌道点 B1) とを結ぶ線上に他の物体が含まれる場合、すなわち基準ワーク A 及びワーク B (目標位置 A1 及び軌道点 B1) よりレンズ側に他の物体がある場合である。具体的には、基準ワーク A よりレンズ側にアーム 11、ハンド 14、ワーク B のいずれかがある場合や、ワーク B よりレンズ側にアーム 11、ハンド 14、基準ワーク A のいずれかがある場合である。この場合には、レンズから見て基準ワーク A 及びワーク B (目標位置 A1 及び軌道点 B1) が他の物体と重なっている。したがって、第 1 画像及び第 2 画像においては、基準ワーク A 及びワーク B (目標位置 A1 及び軌道点

50

B 1) が他の物体により覆われており、視認できない。

【 0 0 6 2 】

なお、ここでいう「レンズ」とは、最も撮影対象物に近いレンズ（一般的には対物レンズ）を想定しているが、撮像部を構成する全てのレンズが対象に含まれる。なお、第 1 撮像部 3 0 及び第 2 撮像部 4 0 が屈曲光学系を採用している場合には、光軸を折り曲げる光学要素より対物レンズ側（撮像素子から遠い側）のレンズが対象に含まれる。また、対物レンズの前面にカバーガラスが設けられている場合には、カバーガラスも対象に含まれる。

【 0 0 6 3 】

また、ここでいう、レンズから見て基準ワーク A 及びワーク B（目標位置 A 1 及び軌道点 B 1）が他の物体と重なっている場合とは、全部が重なる場合と一部が重なる場合が含まれる。また、全部が重なる場合には、ぴったり重なる場合と、背後に隠れてしまう場合が含まれる。

【 0 0 6 4 】

基準ワーク認識部 2 0 2 は、画像取得部 2 0 0 から出力された第 1 画像及び第 2 画像から、基準ワーク A 及び目標位置 A 1 が算出可能な画像情報を認識する。

【 0 0 6 5 】

図 3 は、第 1 画像の例であり、（ A ）は目標位置 A 1 が算出可能な画像情報が検出できる場合、（ B ）は目標位置 A 1 が算出可能な画像情報が検出できない場合を示す。

【 0 0 6 6 】

本実施の形態では、図 1 に示すように、目標位置 A 1 は穴の底であり、画像で直接視認することはできない。しかしながら、穴の深さが分かっている（例えば、メモリー 2 2（後に説明）等に記憶されている）ため、穴の開口部 A 2（第 1 の位置に相当）の位置が分かれば目標位置 A 1 は算出可能である。したがって、基準ワーク認識部 2 0 2 は、開口部 A 2 を含む画像 A 3（図 3（ A ）参照）を目標位置 A 1 が算出可能な画像情報として第 1 画像及び第 2 画像から検出する。そして、基準ワーク認識部 2 0 2 は、画像 A 3 から開口部 A 2 を認識する。

【 0 0 6 7 】

図 3（ A ）に示すように、開口部 A 2 が視認できる場合には、画像 A 3 を検出することができる。それに対し、図 3（ B ）に示すように、開口部 A 2 が他の部材（ここでは、ワーク B）により覆われており開口部 A 2 が視認できない場合には画像 A 3 が検出できない。したがって、画像 A 3 は、開口部 A 2 を含む最少範囲の画像とすることが望ましい。

【 0 0 6 8 】

なお、基準ワーク認識部 2 0 2 が行う画像認識処理は、特に限定されるものではなく、すでに公知の様々な技術を用いることができるため、説明を省略する。

【 0 0 6 9 】

基準ワーク認識部 2 0 2 は、第 1 画像及び第 2 画像から開口部 A 2 が認識された場合には、開口部 A 2 の位置を示す情報を目標位置算出部 2 0 3 に出力する。また、基準ワーク認識部 2 0 2 は、第 1 画像又は第 2 画像から開口部 A 2 が認識されなかった場合には、目標位置算出部 2 0 3 には何も出力されない。

【 0 0 7 0 】

目標位置算出部 2 0 3 は、目標位置 A 1 が算出可能である場合には、画像 A 3 から開口部 A 2 を検出する。また、目標位置算出部 2 0 3 は、検出した開口部 A 2 の位置と、穴の深さの情報とに基づいて、目標位置 A 1 がどこであることを示す情報（以下、目標位置 A 1 の位置情報という）を算出する。算出された目標位置 A 1 の位置情報は、制御部 2 0 5 に出力される。

【 0 0 7 1 】

本実施の形態では、穴の断面は円形であるため、目標位置算出部 2 0 3 は、開口部 A 2 の中心位置から穴の深さだけ基準ワーク A の内側へ向かう方向へ移動（図 1、3 に示す場合は下方向へ移動）させた位置を、目標位置 A 1 の位置と算出する。

【 0 0 7 2 】

なお、本実施の形態では、円形の穴の開口部 A 2 と穴の深さとから目標位置 A 1 を算出したが、目標位置は穴の底とは限らず、様々な形態が考えられる。ただし、いかなる形態においても、目標位置は視認できない。したがって、本発明では、ワークの表面に露出した指標となる位置と、あらかじめ分かっている指標と目標位置との距離（所定の距離に相当）とから、目標位置を算出する。また、開口部 A 2 の形状もこれに限らず、様々な形態が考えられる。ただし、開口部 A 2 は、基準ワーク A の表面の任意の位置であることは変わらない。また、目標位置 A 1 は、基準ワーク A の表面の任意の位置から、基準ワーク A の表面の任意の位置と目標位置との距離だけ基準ワーク A の内側へ離れた位置であることは変わらない。

10

【 0 0 7 3 】

ワーク認識部 2 0 4 は、画像取得部 2 0 0 から出力された第 1 画像及び第 2 画像から、ワーク B 及び軌道点 B 1 を検出する。本実施の形態では、軌道点 B 1 は、ワーク B の先端である。したがって、ワーク認識部 2 0 4 は、図 3 (A) に示すように、ワーク B 先端（軌道点 B 1）を含む画像 B 2 を第 1 画像及び第 2 画像から検出する。そして、ワーク認識部 2 0 4 は、画像 B 2 から軌道点 B 1 を認識する。

【 0 0 7 4 】

本実施の形態では、ワーク B は円柱形である。したがって、ワーク認識部 2 0 4 は、先端の径方向の中心位置を軌道点 B 1 とする。なお、ワーク B の断面形状は円形に限らず、基準ワーク A の開口部 A 2 と同じ形状であれば、どのような形状でもよい。また、ワーク B の形状に応じて、軌道点 B 1 の位置も様々な位置となり得る。ただし、軌道点 B 1 は、ワーク B の表面の任意の位置であることは変わらない。

20

【 0 0 7 5 】

図 3 (A) に示すように、軌道点 B 1 が視認できる場合には、画像 B 2 を検出することができる。それに対し、図 3 (B) に示すように、軌道点 B 1 が他の部材（ここでは、基準ワーク A）により覆われており軌道点 B 1 が視認できない場合には画像 B 2 が検出できない。なお、画像 B 2 は、軌道点 B 1 を含む最少範囲の画像とすることが望ましい。

【 0 0 7 6 】

ワーク認識部 2 0 4 は、第 1 画像及び第 2 画像から画像 B 2 が認識できた場合には、画像 B 2 から軌道点 B 1 を検出する。そして、ワーク認識部 2 0 4 は、軌道点 B 1 の位置を示す情報を制御部 2 0 5 に出力する。ワーク認識部 2 0 4 は、第 1 画像又は第 2 画像から画像 B 2 が認識できなかった場合には、制御部 2 0 5 に何も出力しない。

30

【 0 0 7 7 】

なお、ワーク認識部 2 0 4 が行う画像認識処理は、特に限定されるものではなく、すでに公知の様々な技術を用いることができるため、説明を省略する。

【 0 0 7 8 】

制御部 2 0 5 は、基準ワーク認識部 2 0 2、目標位置算出部 2 0 3、ワーク認識部 2 0 4 から出力された情報に基づいて、開口部 A 2 及び軌道点 B 1 が認識できた場合と、そうでない場合とで、異なる制御方法を用いてアーム 1 1 及びハンド 1 4 等を制御する。具体的には、制御部 2 0 5 は、基準ワーク認識部 2 0 2、ワーク認識部 2 0 4 からの出力に基づいて、開口部 A 2 及び軌道点 B 1 が認識できたか否かを判断する。また、制御部 2 0 5 は、判断結果に基づいて、ビジュアルサーボを用いるか、インピーダンス制御を用いるかの切り替えを行う。そして、制御部 2 0 5 は、目標位置算出部 2 0 3 から出力された目標位置に、軌道点 B 1 を近づけるようにハンド 1 4 が把持するワーク B を移動させ、目標位置に軌道点 B 1 を一致させるようにする。

40

【 0 0 7 9 】

なお、ビジュアルサーボは、目標物との相対的な位置の変化を視覚情報として計測し、それをフィードバック情報として用いることによって目標物を追跡する制御手法である。本実施の形態では、ステレオ視などの方法を用いて計算した対象の 3 次元位置情報に基づいてロボットを制御する位置ベース法を採用する。

50

【 0 0 8 0 】

また、インピーダンス制御は、ロボットの手先（ハンド 1 4）に外から力を加えた場合に生じる機械的なインピーダンス（慣性、減衰係数、剛性）を、目的とする作業に都合の良い値に設定するための位置と力の制御手法である。例えば、減衰係数を低く設定した場合、軽い力でロボットが動作するため移動が容易である反面、安定性が低く、位置決めなど精密な動作には不適な特性となる。ここで、安定性が低いとは、移動後に目標位置での停止が難しい、ロボットが他の物体に強い力（破壊する可能性がある力）で接触してしまう等を意味する。一方、減衰係数を高く設定した場合、抵抗が大きくなり移動が困難になる反面、安定性が高くなり、位置決めなど精密な動作に適した特性となる。ここで、安定性が高いとは、移動後に目標位置での停止が容易、ロボットが他の物体に接触する場合においても適切な接触強度で接触する等を意味する。

10

【 0 0 8 1 】

インピーダンス制御を用いる場合には、機械的なインピーダンス（柔らかさ）を適切な目標値に設定する事によって、外力と同じ方向に、マニピュレータが受ける外力に応じた適切な柔らかさ（移動速度、安定性等）で作業を行なわることができる。これにより、ワークやロボット自体を破壊することを防止する、もしくはワークやロボット自体を破壊する可能性を低減することができる。本実施の形態では、手先の位置、速度、力などの測定値を用いたフィードバック制御でインピーダンスを変更する能動インピーダンス法を採用する。

20

【 0 0 8 2 】

なお、ビジュアルサーボ、インピーダンス制御は、すでに公知の制御手法であるため、詳細な説明を省略する。

【 0 0 8 3 】

制御部 2 0 5 は、ビジュアルサーボの場合には、仮想変位 V（第 1 の量に相当）だけ軌道点 B 1 を移動させるように、軌道点 B 1 の移動量及び移動方向を算出する。また、制御部 2 0 5 は、インピーダンス制御の場合には、仮想変位 I（第 2 の量に相当）だけ軌道点 B 1 を移動させるように、軌道点 B 1 の移動量及び移動方向を算出する。仮想変位 V、I とは、軌道点 B 1、すなわちハンド 1 4 の変位である。なお、仮想変位 I は、仮想変位 V より小さく設定されている。制御部 2 0 5 が行う処理の詳細については、後に詳述する。

30

【 0 0 8 4 】

サーボシステム 2 0 6 は、制御部 2 0 5 から出力された情報に基づいてアーム 1 1 を制御するように、動作制御部 1 0 1 に情報を出力する。これにより、ハンド 1 4 の位置及び向き等が変更可能となる。

【 0 0 8 5 】

また、サーボシステム 2 0 6 は、制御部 2 0 5 がインピーダンス制御を用いる場合には、動作制御部 1 0 1 によるアーム 1 1 の制御による軌道点 B 1、すなわちハンド 1 4 の各方向成分の移動量を制御部 2 0 5 へ出力する。さらに、サーボシステム 2 0 6 は、作業が終了していない場合には、第 1 画像及び第 2 画像を撮像するように、第 1 撮像部 3 0 及び第 2 撮像部 4 0 に指示を出力する。サーボシステム 2 0 6 が行う処理の詳細については、後に詳述する。

40

【 0 0 8 6 】

図 4 は、ロボット制御部 2 0 の概略構成の一例を示すブロック図である。図示するように、例えばコンピューターなどで構成されるロボット制御部 2 0 は、演算装置である CPU（Central Processing Unit）2 1 と、揮発性の記憶装置である RAM（Random Access Memory）や不揮発性の記憶装置である ROM（Read only Memory）からなるメモリー 2 2 と、外部記憶装置 2 3 と、ロボット 1 0 等の外部の装置と通信を行う通信装置 2 4 と、マウスやキーボード等の入力装置 2 5 と、ディスプレイ等の出力装置 2 6 と、ロボット制御部 2 0 と他のユニットを接続するインターフェイス（I / F）2 7 とを備える。

【 0 0 8 7 】

50

上記の各機能部は、例えば、CPU 21がメモリー22等に格納された所定のプログラムをメモリー22等を読み出して実行することにより実現される。なお、所定のプログラムは、例えば、予めメモリー22等にインストールされてもよいし、通信装置24を介してネットワークからダウンロードされてインストール又は更新されてもよい。

【0088】

以上のロボットシステム1の構成は、本実施形態の特徴を説明するにあたって主要構成を説明したのであって、上記の構成に限られない。例えば、ロボット10がロボット制御部20や第1撮像部30及び第2撮像部40を備えていてもよい。また、一般的なロボットシステムが備える構成を排除するものではない。

【0089】

次に、本実施形態における、上記構成からなるロボットシステム1の特徴的な処理について説明する。

【0090】

図5は、本発明のアーム11及びハンド14の制御処理の流れを示すフローチャートである。この処理は、任意のタイミングで、例えば、図示しないボタン等を介してビジュアルサーボの開始指示が入力されることにより開始される。本実施の形態では、ロボット10がワークBであるピンを、基準ワークAの穴に圧入する圧入作業を例に説明する。

【0091】

画像取得部200は、第1撮像部30及び第2撮像部40から第1画像及び第2画像を取得する(ステップS100)。取得された画像データは、基準ワーク認識部202及びワーク認識部204に出力される。

【0092】

基準ワーク認識部202は、第1画像及び第2画像から基準ワークAの開口部A2を認識する(ステップS102)。そして、基準ワーク認識部202は、開口部A2が認識できたか否かを判断する(ステップS104)。

【0093】

開口部A2が認識できたと判断された場合(ステップS104でYES)には、基準ワーク認識部202は、開口部A2の位置を示す情報を目標位置算出部203に出力する。目標位置算出部203は、取得した情報に基づいて目標位置A1の位置情報を更新する(ステップS106)。

【0094】

ワーク認識部204は、第1画像及び第2画像からワークBの軌道点B1を認識する(ステップS108)。そして、ワーク認識部204は、軌道点B1が認識できたか否かを判断する(ステップS110)。

【0095】

軌道点B1が認識できた場合(ステップS110でYES)には、ワーク認識部204は、軌道点B1の位置を示す情報を制御部205に出力する。また、制御部205は、ビジュアルサーボによりアーム11を制御する(ステップS112)。以下、ビジュアルサーボによりアーム11を制御する方法を、詳細に説明する。

【0096】

制御部205は、ワーク認識部204から出力された情報に基づいて、軌道点B1の位置がどこであるかを示す情報(以下、軌道点B1の位置情報という)を算出する。そして、制御部205は、算出された軌道点B1の位置情報と、目標位置算出部203から取得した目標位置A1の位置情報とに基づいて、軌道点B1の仮想変位Vと移動方向とを算出する。制御部205は、ビジュアルサーボにより軌道点B1、すなわちハンド14を仮想変位Vだけ算出された移動方向へ移動させることを示す情報を、サーボシステム206に出力する。

【0097】

サーボシステム206は、制御部205から出力された情報に基づいて、軌道点B1、すなわちハンド14の移動方向及び移動量を求める。具体的には、仮想変位Vを各方向(

10

20

30

40

50

x 方向、y 方向、z 方向) 成分に分解することにより、x 方向の移動量、y 方向の移動量、z 方向の移動量を算出する。そして、サーボシステム 206 は、ビジュアルサーボにより、算出された移動量だけハンド 14 を x 方向、y 方向、z 方向に移動させるように、動作制御部 101 へ指示を出力する。

【0098】

動作制御部 101 は、サーボシステム 206 から出力された指示に基づいて、アーム 11 を移動させる。これにより、ビジュアルサーボによりアーム 11 を制御するステップ (ステップ S112) が終了する。

【0099】

軌道点 B1 が認識できなかった場合 (ステップ S110 で NO) には、制御部 205 は、インピーダンス制御によりアーム 11 を制御する (ステップ S114)。以下、インピーダンス制御によりアーム 11 を制御する方法を、詳細に説明する。

【0100】

制御部 205 は、ワーク認識部 204 及びサーボシステム 206 から出力された情報に基づいて、軌道点 B1 の位置情報を算出する。具体的には、制御部 205 は、ワーク認識部 204 から最後に取得した情報、すなわち最後に認識された軌道点 B1 の位置に、サーボシステム 206 から出力されたハンド 14 の各方向成分の移動量を加算して、現在の軌道点 B1 の位置情報を算出する。そして、制御部 205 は、算出された軌道点 B1 の位置情報と、目標位置算出部 203 から取得した目標位置 A1 の位置情報とに基づいて、軌道点 B1、すなわちハンド 14 の仮想変位 I と移動方向とを算出する。

【0101】

インピーダンス制御は、画像から軌道点 B1 (又は開口部 A2) が検出できない場合に行うものである。したがって、基準ワーク A とワーク B とがぶつかっている可能性もある。したがって、より安全に作業を行うため、インピーダンス制御の時の仮想変位 I は、仮想変位 V より小さく設定している。

【0102】

制御部 205 は、インピーダンス制御によりハンド 14 を仮想変位 I だけ算出された移動方向へ移動させることを示す情報を、サーボシステム 206 に出力する。

【0103】

サーボシステム 206 は、制御部 205 から取得した情報に基づいてハンド 14 の移動方向及び移動量を求める。具体的には、サーボシステム 206 は、仮想変位 I を各方向 (x 方向、y 方向、z 方向) 成分に分解することにより、x 方向の移動量、y 方向の移動量、z 方向の移動量を算出する。そして、サーボシステム 206 は、インピーダンス制御により、算出された移動量だけハンド 14 を x 方向、y 方向、z 方向に移動させるように、動作制御部 101 へ指示を出力する。

【0104】

動作制御部 101 は、サーボシステム 206 から出力された指示に基づいて、アーム 11 を移動させる。これにより、インピーダンス制御によりアーム 11 を制御するステップ (ステップ S114) が終了する。

【0105】

本実施の形態では、軸の圧入作業であるため、ワーク B に外力がかかる可能性が高い。しかしながら、インピーダンス制御を行うことにより、外力がかかる場合においても、確実にワーク B を仮想変位 I だけ移動させることができる。

【0106】

開口部 A2 が認識できなかった場合 (ステップ S104 で NO) には、基準ワーク認識部 202 から目標位置算出部 203 へ情報が入力されないため、目標位置算出部 203 は、目標位置 A1 が算出不可能であることと判断し、直前に算出された目標位置 A1 の位置情報を制御部 205 へ出力する。その後、ステップ S109 へ進む。

【0107】

ワーク認識部 204 は、第 1 画像及び第 2 画像からワーク B の軌道点 B1 を認識する (

10

20

30

40

50

ステップS 1 0 9)。当該処理は、ステップS 1 0 8の処理と同じである。軌道点B 1が認識できた場合は、ワーク認識部2 0 4は、軌道点B 1の位置を示す情報を制御部2 0 5に出力する。制御部2 0 5は、インピーダンス制御により可動部を制御する(ステップS 1 1 4)。この場合は、目標位置A 1の位置情報が画像から分からないため、軌道点B 1が認識できたか否かにかかわらず、インピーダンス制御を行う。ステップS 1 1 4の処理については、すでに説明したため、ここでは説明を省略する。

【0 1 0 8】

このように、本実施の形態では、開口部A 2、軌道点B 1のどちらかが画像から検出されなかった場合には、インピーダンス制御を行う。開口部A 2、軌道点B 1の両方が画像から検出されなかった場合にも、インピーダンス制御を行う。インピーダンス制御は、インピーダンスが設定されているため、基準ワークAとワークBとがぶつかったとしても、ワークBが設定された方向に無理やり動かれることがないため、基準ワークAやワークBが破壊されずに済み、安全に作業を継続することができる。

【0 1 0 9】

ビジュアルサーボ又はインピーダンス制御により軌道点B 1、すなわちハンド1 4が仮想変位V、Iだけ移動された(ステップS 1 1 2、S 1 1 4)ら、サーボシステム2 0 6は、移動後の軌道点B 1の位置情報と、目標位置A 1の位置情報とが一致する、すなわち軌道点B 1が目標位置A 1に到達したか否かを判断する(ステップS 1 1 6)。

【0 1 1 0】

軌道点B 1が目標位置A 1に到達していない場合(ステップS 1 1 6でNO)は、サーボシステム2 0 6は、指示を第1撮像部3 0及び第2撮像部4 0に出力する。すると、第1撮像部3 0及び第2撮像部4 0は第1画像及び第2画像を撮像し、画像取得部2 0 0は第1画像及び第2画像を取得する(ステップS 1 0 0)。これにより、ステップS 1 0 0~S 1 1 6が繰り返し行われる。軌道点B 1が目標位置A 1に到達している場合(ステップS 1 1 6でYES)は、処理を終了する。

【0 1 1 1】

このように図5に記載のフローを繰り返し行うことにより、画像から目標位置A 1や軌道点B 1が見える状態から見えない状態となった場合には、ビジュアルサーボからインピーダンス制御へと切り替えられる。また、画像から目標位置A 1や軌道点B 1が見えない状態から見える状態へ戻った場合には、インピーダンス制御からビジュアルサーボへと切り替えられる。

【0 1 1 2】

本実施の形態によれば、ワーク等が画像から認識できない場合にはインピーダンス制御を行うため、ワーク等が画像から認識できない場合にも、安全に作業を継続することができる。

【0 1 1 3】

また、本実施の形態によれば、軌道点や目標位置が画像から認識できる場合には、ビジュアルサーボを用いるため、作業の都度、基準ワークAの位置が異なっても、作業を行うことができる。したがって、毎回同じ位置に基準ワークAを設置する必要がなく、作業効率を高くすることができる。

【0 1 1 4】

さらに、本実施の形態によれば、どのような制御方法を用いた場合においても、ワークの内部にあって視認できない目標位置へ、ハンドが把持するワークを移動させることができる。

【0 1 1 5】

なお、本実施形態では、ビジュアルサーボとインピーダンス制御とを切り替える例として、軸の圧入作業を用いて説明したが、ビジュアルサーボとインピーダンス制御とを切り替えることが有効な場合はこれに限られない。例えば、コネクタを挿す作業、蓋をはめる作業等の複数の部品を組み合わせる作業であれば、様々な作業に適用できる。また、本実施の形態では、エンドエフェクターとしてハンドを用い、ハンドでワークを把持したが、

10

20

30

40

50

エンドエフェクターはワークの種類によって様々な形態が考えられる。また、ハンドはワークを把持したが、エンドエフェクターの種類によっては様々な形でワークを保持することができる。

【0116】

また、本実施形態では、開口部 A 2 が視認できない場合として開口部 A 2 がワーク B により覆われた場合を示し、軌道点 B 1 が視認できない場合として軌道点 B 1 が基準ワーク A により覆われた場合を示した（図 3（B）参照）が、開口部 A 2、軌道点 B 1 が視認できない場合はこれに限られない。開口部 A 2、軌道点 B 1 が視認できない場合としては、開口部 A 2 や軌道点 B 1 が他の部品、例えばアーム 1 1 等により物理的に覆われている場合も考えられる。また、開口部 A 2、軌道点 B 1 が視認できない場合としては、開口部 A 2、軌道点 B 1 が物理的に覆われていなくても、金属光沢の反射等により開口部 A 2、軌道点 B 1 が画像認識処理により認識できない場合も考えられる。さらに開口部 A 2、軌道点 B 1 が視認できない場合としては、開口部 A 2、軌道点 B 1 が第 1 画像、第 2 画像の想定している範囲（例えば、中央部分の所定範囲）にない時や、開口部 A 2、軌道点 B 1 が第 1 画像、第 2 画像に含まれていない場合も考えられる。以上の場合と異なり、開口部 A 2、軌道点 B 1 が認識できた場合であっても、開口部 A 2、軌道点 B 1 との位置関係が想定している位置関係にない（例えば、ワーク B は基準ワーク A より上にある）場合を、開口部 A 2、軌道点 B 1 が視認できない場合を含めてもよい。

10

【0117】

なお、本実施の形態では、サーボシステム 2 0 6 から第 1 撮像部 3 0 及び第 2 撮像部 4 0 に撮像指示を出力したが、これに限られるわけではなく、例えば、撮像指示を画像取得部 2 0 0 に出力し、画像取得部 2 0 0 から第 1 撮像部 3 0 及び第 2 撮像部 4 0 に指示を出力してもよい。

20

【0118】

なお、本実施の形態では、力、値、位置の情報、撮像結果、認識結果、判断結果等の何らかの情報に基づいて処理（アーム 1 1 の制御、ハンド 1 4 の移動等）を行っているが、情報に基づいて処理を行うとは、情報そのものを使って処理を行うこと、情報を加工等して得られた結果を使って処理を行うこと、情報の一部を取り出して処理を行うこと等を含む。

【0119】

例えば、撮像結果に基づいて処理を行う場合には、撮像して得られた画像を使って処理をしてもよいし、画像に対して任意の画像処理をして得られた結果を使って処理をしてもよいし、画像に含まれる輝度、色データ等を取り出して処理をしてもよいし、画像の一部領域のデータのみを取り出して処理をしてもよいし、画像のタグ等に含まれる情報を取り出して処理をしてもよい。また、画像に対して任意の画像処理をして得られた結果とは、例えば、位置情報（座標）、大きさの情報、形状の情報、位置関係を示す情報、物体の有無を示す情報等が含まれる。

30

【0120】

また、例えば、力に基づいて処理を行う場合には、センサー等の出力値やアクチュエータ等での測定値等（以下、測定値という）をそのまま使って処理をしてもよいし、測定値を用いて算出された値を使って処理をしてもよいし、測定値と測定値を用いて算出された値との合成結果を使って処理をしてもよいし、測定値の合計値を使って処理をしてもよい。

40

【0121】

< 第 2 の実施形態 >

本発明の第 1 の実施形態は、片腕ロボットを用いて、床、台等の平面に置いてある基準ワーク A にワーク B を圧入したが、本発明の適用範囲はこれに限定されない。

【0122】

本発明の第 2 の実施形態は、双腕ロボットに本発明を適用した形態である。以下、本発明の第 2 の実施形態について説明する。なお、処理の流れは第 1 の実施形態と同一である

50

ため、構成についてのみ説明する。また、第 1 の実施形態と同一の部分については、同一の符号を付し、説明を省略する。

【0123】

図 6 は、本発明の一実施形態におけるロボットシステム 2 の構成の一例を示すシステム構成図である。本実施形態におけるロボットシステム 2 は、主として、ロボット 10 A と、ロボット制御部 20 と、第 1 撮像部 30 と、第 2 撮像部 40 とを備える。

【0124】

ロボット 10 A は、複数のジョイント（関節）12 と、複数のリンク 13 とを含むアーム 11 を複数（本実施の形態では 2 本）有するアーム型のロボット、いわゆる双腕ロボットである。2 本のアーム 11 の先端には、それぞれ、ハンド 14（いわゆるエンドエフェクター）が設けられる。

【0125】

2 個のハンド 14 のうちの一本がワーク B を把持し、他の一本が基準ワーク A を把持する。2 個のハンド 14 のうちのどちらのハンド 14 が、どちらのワーク（基準ワーク A 又はワーク B）を把持するかは、任意である。第 1 の実施の形態と同様、ワーク B が挿入される側の大きいワークを、便宜上基準ワーク A としているが、ワーク B を基準ワークとしてもよい。また、この基準という表現は、ワークの形状、大きさ、位置等に関するものではない。

【0126】

このように、本発明は、載置されたワークに他のワークを挿入等する場合に限らず、複数の可動部がそれぞれワークを把持し、把持されたワークどうしを組み合わせ等する場合にも適用できる。例えば、複数の歯車が適切に噛み合うように歯車を配置する場合、複数の物体を位置合わせして載置する場合にも適用できる。さらに、接着剤、ペースト状のはんだ等を吐出する装置をハンドで把持し、接着剤、ペースト状のはんだ等を任意の位置に吐出させる場合等にも適用できる。

【0127】

<その他変形例>

上記第 1、第 2 の実施の形態では、ビジュアルサーボとインピーダンス制御とを切り替えたが、ビジュアルサーボと切り替えるのはインピーダンス制御に限られない。例えば、以下に示すような制御方法も考えられる。

【0128】

上記第 1、第 2 の実施形態で用いた軸の圧入や、摩擦および隙間のない丸棒の穴等への挿入作業を考える。挿入方向と平行な軸を z 軸とし、z 軸と垂直な面上に x 軸、y 軸を設定すると、上記作業においては、x、y 軸方向及び x、y 軸回りの運動と、z 軸方向及び z 軸回りの力の発生とが拘束される（自然拘束）。したがって、作業の達成には、x、y 軸方向及び x、y 回りの許容干渉力と、z 軸方向の挿入速度および z 軸回りの許容回転速度（人工拘束）の設定が必要となる。したがって、圧入、挿入作業を行う場合には、拘束条件に基づき、エンドエフェクターの運動を干渉力に応じて修正するコンプライアンス（順応）機能を有するコンプライアンス制御を行うことにより、作業を効果的に実行することができる。

【0129】

コンプライアンス制御では、エンドエフェクターに加えられた力に応じてエンドエフェクターが変位する。例えば、穴へピンを挿入する作業を行う場合には、挿入方向（エンドエフェクターを移動させる方向、穴の軸方向）には一定力で押しつけ、挿入方向以外の方向には外力を加えないというように、各方向別に押しつけ力を設定する。穴とピンが当接している場合には、挿入方向以外の方向に外力が加わるため、穴とピンとが当接しないように、エンドエフェクターが受けた力の方向にエンドエフェクターを変位させ、穴とピンとをなじませる。したがってコンプライアンス制御を用いることで、穴の軸とピンの軸とがずれている場合においても、ピンの穴への挿入が可能となる。これにより、ロボットやピン、穴等を破壊することを防止する、もしくはロボットやピン、穴等を破壊する可能性

10

20

30

40

50

を低減することができる。

【0130】

また、アーム11及びハンド14等に組立て、研磨、ばり取り、クランク回しなどの作業をさせる際には、ハンド14等のエンドエフェクターの位置だけでなく、ロボットが対象物に印加する力をも制御することが必要となる。インピーダンス制御は、エンドエフェクターに作用する干渉力とエンドエフェクターの運動との間の関係(インピーダンス)を調節する方法であるため、このような作業に対しても効果的である。それに加え、位置を制御したい方向および力を制御したい方向を定め、それぞれの方向の位置や力が希望の値になるように複数の制御方式を適用するハイブリッド制御を用いた場合も、このような作業に対しても効果的である。

10

【0131】

すなわち、画像から基準ワークAやワークBが認識できなくなったときに、ハイブリッド制御、コンプライアンス制御等の干渉力を巧妙に制御することができる制御方法へビジュアルサーボから切り替えた場合にも、安全に作業を継続することができるという本発明の効果を達成できる。

【0132】

なお、ハイブリッド制御、コンプライアンス制御等の干渉力を巧妙に制御することができる制御方法を行うためには、ハンド14等のエンドエフェクターに加わる力を検出することが好ましい。エンドエフェクターに加わる力は、第1、第2の実施の形態のように、力覚センサー等で直接測定することもできるし、アーム11の各軸トルク値からエンドエフェクターに及ぼす外力を推定することもできる。したがって、干渉力を制御することができる制御方法は、直接または間接的にエンドエフェクターに加わる力を取得する手段を、アーム11等が有していれば実行可能である。

20

【0133】

また、上記第1、第2の実施の形態では、ビジュアルサーボとインピーダンス制御とを切り替えたが、本発明の範囲はビジュアルサーボとインピーダンス制御とを切り替える場合に限られない。第1画像、第2画像から軌道点、目標位置が視認できる場合にはビジュアルサーボを行い、第1画像、第2画像から軌道点、目標位置が視認できない場合にはインピーダンス制御を行えばよい。例えば、第1画像、第2画像から軌道点、目標位置が視認できる場合にはビジュアルサーボとインピーダンス制御とを両方行う制御方式を行い、第1画像、第2画像から軌道点、目標位置が視認できなくなったらビジュアルサーボをやめてインピーダンス制御のみを行うようにしてもよい。ビジュアルサーボとインピーダンス制御とを両方行う制御方式を用いることで、可動部をより大きく動かすことができる。

30

【0134】

また、上記第1、第2の実施の形態では、第1撮像部30及び第2撮像部40の2個の撮像部を備えたが、撮像部は1つでもよいし、3つ以上でもよい。例えば、撮像部が1つだけの場合には、撮像部から見て奥行き方向の位置を認識することは難しい。しかしながら、撮像部が1つだけの場合にも、仮想的な制約平面を設定することにより、奥行き方向の位置を決定することができる。また、撮像部が1つだけの場合、物理的な制約面を設定してインピーダンス制御、コンプライアンス制御等を行うようにしてもよい。

40

【0135】

なお、第1、第2の実施の形態では、第1撮像部30及び第2撮像部40を備えているため、第1画像、第2画像のどちらかから開口部A2、軌道点B1が視認できない場合には、開口部A2、軌道点B1が視認できない場合としたが、第1画像、第2画像の両方から開口部A2、軌道点B1が視認できない場合にのみ、開口部A2、軌道点B1が視認できない場合としてもよい。ただし、作業の安全性を高めるためには、第1画像、第2画像のどちらかから開口部A2、軌道点B1が視認できない場合には、開口部A2、軌道点B1が視認できない場合とすることが望ましい。

【0136】

また、上記第1、第2の実施の形態では、第1撮像部30及び第2撮像部40の2個の

50

撮像部を作業台（床でもよい）の上に設けた（図 1、6 参照）が、撮像部を設ける位置は作業台の上に限られない。撮像部は、天井に設けてもいいし、ロボットに設けてもよい。

【0137】

図 7、8 は、撮像部を天井に設ける形態である。図 7 は、ロボット 10 A と作業者とが同一の製品に対して順番に作業を行う生産システムである。図 8 は、ロボット 10 A が 1 つの生産セル内で作業を行うセル生産システムである。図 7、8 に示すように、第 3 撮像部 50 は、ロボット 10 A の作業領域が写された画像を撮像できるように、天井に設けられる。なお、図 7、8 では、天井の図示を省略している。

【0138】

図 7 においては、1 つのロボット 10 A に対して 1 つの第 3 撮像部 50 が設けられる。それに対し、図 8 では、ロボット 10 A の作業領域が広く、1 個の第 3 撮像部 30 では作業領域全体をカバーできないため、1 つのロボット 10 A に対して 3 個の第 3 撮像部 50 が設けられる。なお、第 3 撮像部 50 を複数設ける場合に、画角の一部が重なるように設けることは、画角が重なる領域については奥行き方向の情報も得ることができるため、望ましい。

【0139】

また、図 7 に示すように、1 つのロボット 10 A に対して 1 つの第 3 撮像部 50 を設ける場合には、画像の奥行き方向の情報を得ることができない。したがって、画像の奥行き方向の情報が必要な場合には、1 つのロボット 10 A に対して、第 1 撮像部 30 及び第 2 撮像部 40 を第 3 撮像部 50 と共に設けるようにしてもよいし、第 3 撮像部 50 を複数設けてもよい。

【0140】

図 9、10、11 は、ロボット自体に撮像部を設ける形態である。図 9 は、ロボット 10 B の頭に相当する部分に撮像部 15、16 を設ける形態である。図 9 においては、撮像部 15、16 を設けているため、画像の奥行き方向の情報を得ることができる。ただし、ロボットの頭に相当する部分に撮像部を設ける形態においても、撮像部の数は 2 つに限られず、1 つでもよいし、3 個以上でもよい。

【0141】

図 10、11 は、撮像部がアーム 11 の先端に設けられた形態である。図 10 は、撮像部 17 が、アーム 11 の先端に、かつ撮像部 17 の軸 17 a とアーム 11 の軸 11 a とが平行（少しずれている場合を含む）となるように設けられている。図 11 は、撮像部 18 が、アーム 11 の先端に、かつ撮像部 18 の軸 18 a とアーム 11 の軸 11 a とが直交（少しずれている場合を含む）するように設けられている。なお、図 11 に示す形態では、撮像部 18 が設けられたアーム 11 でワーク等を把持してしまうと、軸 18 a と軸 11 a とが平行でないため、把持したワーク等を撮像部 18 で撮影できず、ビジュアルサーボを行うことができない。ただし、ワーク等を把持していないアーム 11 が撮像部 18 を有していれば、ビジュアルサーボを行うことができる。

【0142】

なお、第 3 撮像部 50、撮像部 15、16、17、18 は、第 1 撮影部 30 及び第 2 撮影部 40 と機能及び構成が同一であるため、説明を省略する。

【0143】

以上、本発明を実施形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施形態に記載の範囲には限定されない。上記実施形態に多様な変更または改良を加えることが可能であることが当業者には明らかである。また、そのような変更または改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、特許請求の範囲の記載から明らかである。特に、第 1、第 2 の実施の形態では、ロボットと、ロボット制御部が別に設けられたロボットシステムを提供する場合を例示したが、ロボットと、ロボット制御部とが別に設けられたロボットシステムとして提供してもよいし、ロボットにロボット制御部等が含まれたロボットとして提供してもよいし、ロボット制御部のみ、又はロボット制御部及び撮像部からなるロボット制御装置として提供してもよい。また、本発明は、ロボット等を制御するプロ

10

20

30

40

50

グラムやプログラムを記憶した記憶媒体として提供することもできる。

【 0 1 4 4 】

そして、ロボット制御部として提供する場合には、１．ロボット制御装置に撮像部が含まれる場合、２．ロボット制御装置に撮像部が含まれない場合、の２通りが本発明の技術的範囲に含まれる。また、ロボットシステム及びロボットとして提供する場合には、１．ロボットに撮像部及びロボット制御部が含まれる場合、２．ロボットに撮像部が含まれ、ロボット制御部は含まれない場合、３．ロボットにロボット制御部が含まれ、撮像部は含まれない場合、４．ロボットに撮像部とロボット制御部とが含まれず、撮像部とロボット制御部とが異なる筐体に、もしくは撮像部とロボット制御部とが同一の筐体に含まれる場合、の４通りが本発明の技術的範囲に含まれる。

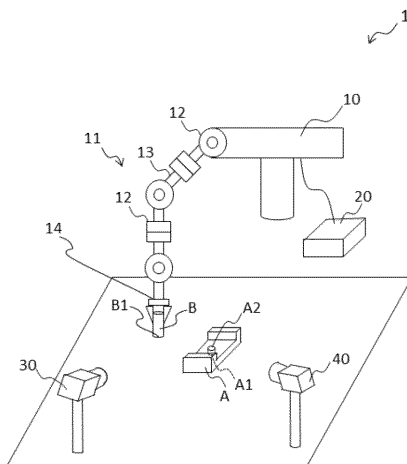
10

【 符号の説明 】

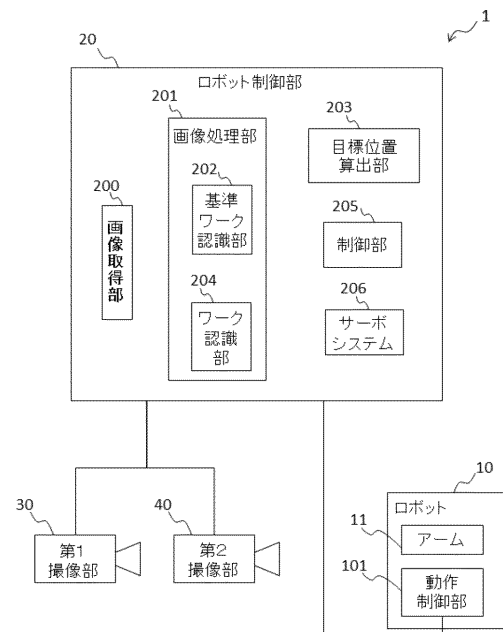
【 0 1 4 5 】

１、２…ロボットシステム、１０、１０Ａ、１０Ｂ…ロボット、１１…アーム、１２…ジョイント、１３…リンク、１４…ハンド、１５、１６、１７、１８…撮像部、２０…ロボット制御部、２１…ＣＰＵ、２２…メモリ、２３…外部記憶装置、２４…通信装置、２５…入力装置、２６…出力装置、２７…Ｉ／Ｆ、３０…第１撮像部、４０…第２撮像部、５０…第３撮像部、１０１…動作制御部、２００…画像取得部、２０１…画像処理部、２０２…基準ワーク認識部、２０３…目標位置算出部、２０４…ワーク認識部、２０５…制御部、２０６…サーボシステム

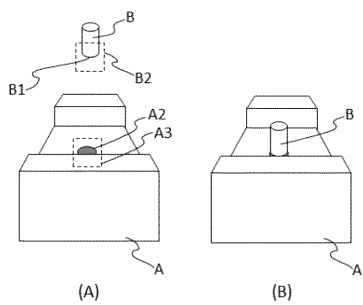
【 図 １ 】



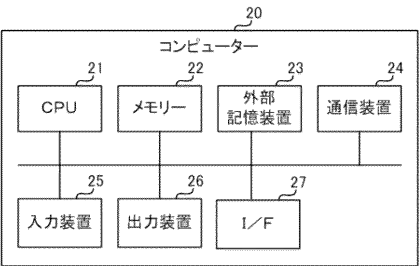
【 図 ２ 】



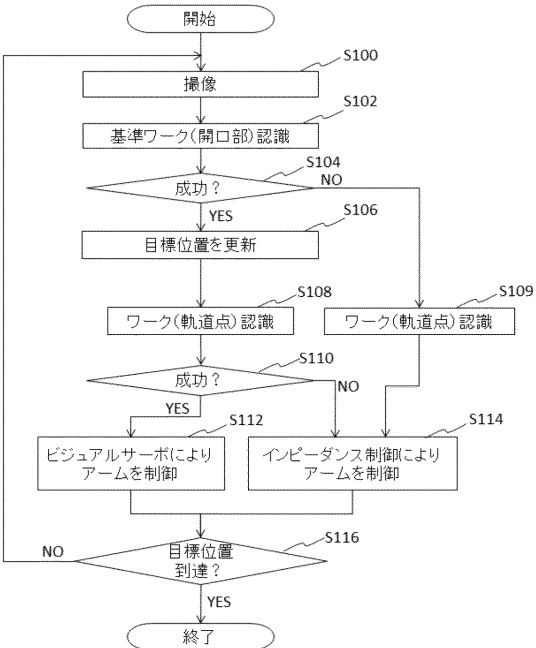
【 図 3 】



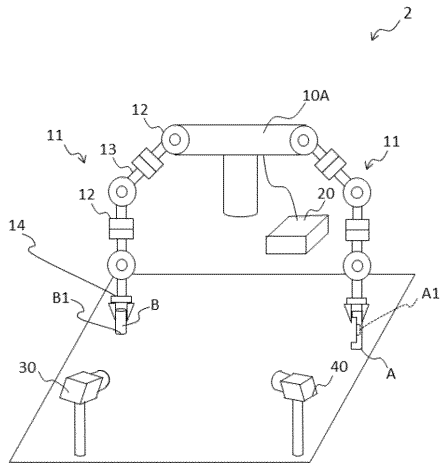
【 図 4 】



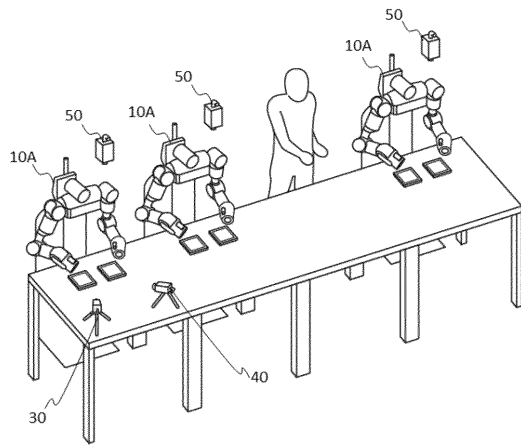
【 図 5 】



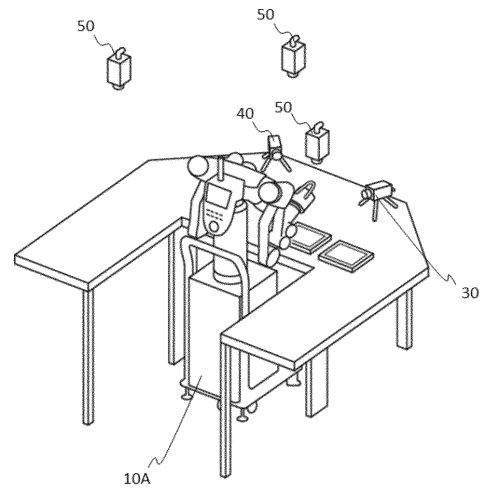
【 図 6 】



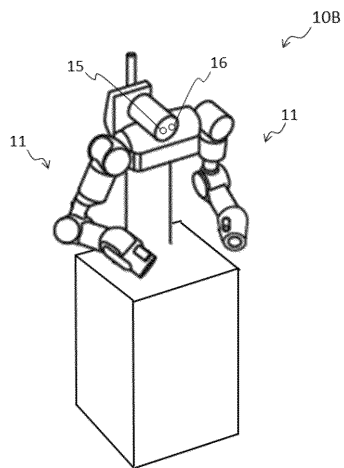
【図 7】



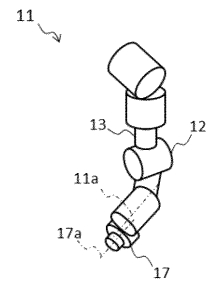
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【図 11】

