

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2022-11402
(P2022-11402A)

(43)公開日 令和4年1月17日(2022.1.17)

(51)国際特許分類 F I テーマコード(参考)
B 2 5 J 9/10 (2006.01) B 2 5 J 9/10 A 3 C 7 0 7

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全21頁)

(21)出願番号	特願2020-112527(P2020-112527)	(71)出願人	000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(22)出願日	令和2年6月30日(2020.6.30)	(74)代理人	100179475 弁理士 仲井 智至
		(74)代理人	100216253 弁理士 松岡 宏紀
		(74)代理人	100225901 弁理士 今村 真之
		(72)発明者	狩戸 信宏 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 BS12 CX01 HS27 KS21 KS35 KV01 KW03 KX06 LS15 LT07 LU08

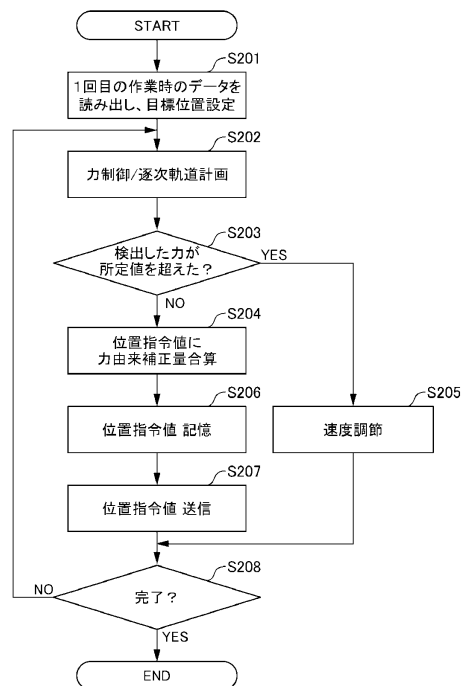
(54)【発明の名称】 ロボットの制御方法およびロボットシステム

(57)【要約】

【課題】複数のワークに対して作業を行う場合、累積の作業時間を短縮することができるロボットの制御方法およびロボットシステムを提供すること。

【解決手段】所定の位置指令値に基づいて力制御によりロボットアームを動作させて第1作業対象物に対して第1作業を実行する第1作業ステップと、ロボットアームに設定された制御点が、第1作業ステップにおいて通過した軌道の第1位置情報を記憶する第1記憶ステップと、第1記憶ステップにおいて記憶した第1位置情報に基づいてロボットアームに対する位置指令値を更新し、更新した位置指令値である更新値に基づいて力制御によりロボットアームを動作させて第2作業対象物に対して第2作業を実行する第2作業ステップと、を有することを特徴とするロボットの制御方法。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 作業対象物に対して第 1 作業を行い、前記第 1 作業対象物と同種の第 2 作業対象物に対して前記第 1 作業と同種の第 2 作業を行うロボットアームを有するロボットの制御方法であって、

所定の位置指令値に基づいて力制御により前記ロボットアームを動作させて前記第 1 作業対象物に対して前記第 1 作業を実行する第 1 作業ステップと、

前記ロボットアームに設定された制御点が、前記第 1 作業ステップにおいて通過した軌道の第 1 位置情報を記憶する第 1 記憶ステップと、

前記第 1 記憶ステップにおいて記憶した前記第 1 位置情報に基づいて前記ロボットアームに対する位置指令値を更新し、更新した前記位置指令値である更新値に基づいて力制御により前記ロボットアームを動作させて前記第 2 作業対象物に対して前記第 2 作業を実行する第 2 作業ステップと、を有することを特徴とするロボットの制御方法。

10

【請求項 2】

前記第 2 作業ステップでは、前記ロボットアームに加わる力が所定値を超えた場合、前記制御点の移動速度を低下させて前記ロボットアームを動作させる請求項 1 に記載のロボットの制御方法。

【請求項 3】

前記第 2 作業ステップでは、前記ロボットアームに加わる力が所定値を超えた場合、前記ロボットアームの動作を停止する請求項 2 に記載のロボットの制御方法。

20

【請求項 4】

前記第 2 作業ステップにおいて前記制御点が通過した軌道の第 2 位置情報を記憶する第 2 記憶ステップと、

前記第 1 位置情報および前記第 2 位置情報の平均値に基づいて前記ロボットアームに対する位置指令値を更新し、前記平均値に基づいて更新した前記位置指令値である更新値に基づいて前記ロボットアームを動作させて第 3 作業を行う第 3 作業ステップと、を有する請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載のロボットの制御方法。

【請求項 5】

前記第 1 作業と前記第 2 作業とは、連続して行われる作業である請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載のロボットの制御方法。

30

【請求項 6】

第 1 作業対象物に対して第 1 作業を行い、前記第 1 作業対象物と同種の第 2 作業対象物に対して前記第 1 作業と同種の第 2 作業を行うロボットアームと、

記憶部を有し、前記ロボットアームの作動を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、

所定の位置指令値に基づいて力制御により前記ロボットアームを動作させて前記第 1 作業対象物に対して前記第 1 作業を実行し、

前記ロボットアームに設定された制御点が、前記第 1 作業において通過した軌道の第 1 位置情報を記憶し、

記憶した前記第 1 位置情報に基づいて前記ロボットアームに対する位置指令値を更新し、更新した前記位置指令値である更新値に基づいて力制御により前記ロボットアームを動作させて前記第 2 作業対象物に対して前記第 2 作業を実行することを特徴とするロボットシステム。

40

【請求項 7】

前記制御部は、前記ロボットアームに対する前記位置指令値と、前記ロボットアームに加わる力を入力とし、前記更新値を出力とする学習モデルを生成する請求項 6 に記載のロボットシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、ロボットの制御方法およびロボットシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、特許文献1に示すように、先端に工具が装着されるロボットアームを有し、ロボットアームを駆動することによって、作業の対象部材に対して所定の作業を行うロボットが知られている。

【0003】

特許文献1に記載のロボットは、対象部材の表面に沿って加工等を行う微制御により動作を行う。具体的には、工具が予め設定された目標位置に向かうようにロボットアームを移動させつつ、ロボットアームと対象部材との接触力を検出する。そして、検出した力が目標力に一致するように目標位置を補正し、ロボットアームを所定の速度で動作させる。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平6-31663号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

また、対象部材に工具を確実に接触させるために、微制御における目標位置は、工具と対象部材との実際の距離よりも長くなるような位置に設定される。すなわち、実際に工具と対象部材とが接触する位置は、目標位置とずれている。工具と対象部材とが接触するまでの間、比較的遅い速度でロボットアームを動作させるため、このずれ量の大きさによっては、作業時間が長くなる。特に、複数のワークに対して作業を行う場合、累積の作業時間が長くなってしまふ。

20

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明のロボットの制御方法は、第1作業対象物に対して第1作業を行い、前記第1作業対象物と同種の第2作業対象物に対して前記第1作業と同種の第2作業を行うロボットアームを有するロボットの制御方法であって、

所定の位置指令値に基づいて力制御により前記ロボットアームを動作させて前記第1作業対象物に対して前記第1作業を実行する第1作業ステップと、

30

前記ロボットアームに設定された制御点が、前記第1作業ステップにおいて通過した軌道の第1位置情報を記憶する第1記憶ステップと、

前記第1記憶ステップにおいて記憶した前記第1位置情報に基づいて前記ロボットアームに対する位置指令値を更新し、更新した前記位置指令値である更新値に基づいて力制御により前記ロボットアームを動作させて前記第2作業対象物に対して前記第2作業を実行する第2作業ステップと、を有することを特徴とする。

【0007】

本発明のロボットシステムは、第1作業対象物に対して第1作業を行い、前記第1作業対象物と同種の第2作業対象物に対して前記第1作業と同種の第2作業を行うロボットアームと、

40

記憶部を有し、前記ロボットアームの作動を制御する制御部と、を備え、

前記制御部は、

所定の位置指令値に基づいて力制御により前記ロボットアームを動作させて前記第1作業対象物に対して前記第1作業を実行し、

前記ロボットアームに設定された制御点が、前記第1作業において通過した軌道の第1位置情報を記憶し、

記憶した前記第1位置情報に基づいて前記ロボットアームに対する位置指令値を更新し、更新した前記位置指令値である更新値に基づいて力制御により前記ロボットアームを動作させて前記第2作業対象物に対して前記第2作業を実行することを特徴とする。

50

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】図1は、第1実施形態のロボットシステムの全体構成を示す図である。

【図2】図2は、図1に示すロボットシステムのブロック図である。

【図3】図3は、図1に示すロボットの作業対象物であるワークの斜視図である。

【図4】図4は、図3に示すワークに目標位置を設定した状態を示す斜視図である。

【図5】図5は、図4中のA - A線断面図である。

【図6】図6は、図4中のB - B線断面図である。

【図7】図7は、図3に示すワークの斜視図であって、各目標位置を制御点が通過する順番を矢印で示した図である。

10

【図8】図8は、図4中のA - A線断面図であって、作業を行っている状態を示す図である。

【図9】図9は、ワークの横断面図であって、2回目の作業を行う際の目標位置を設定した状態を示す図である。

【図10】図10は、図2に示す制御装置が行う制御動作を説明するためのフローチャートであって、1回目の作業を行う際のフローチャートである。

【図11】図11は、図2に示す制御装置が行う制御動作を説明するためのフローチャートであって、2回目の作業を行う際のフローチャートである。

【図12】図12は、第2実施形態のロボットシステムの制御装置が生成する学習モデルの概念図である。

20

【図13】図13は、ロボットシステムについてハードウェアを中心として説明するためのブロック図である。

【図14】図14は、ロボットシステムのハードウェアを中心とした変形例1を示すブロック図である。

【図15】図15は、ロボットシステムのハードウェアを中心とした変形例2を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

< 第1実施形態 >

図1は、第1実施形態のロボットシステムの全体構成を示す図である。図2は、図1に示すロボットシステムのブロック図である。図3は、図1に示すロボットの作業対象物であるワークの斜視図である。図4は、図3に示すワークに目標位置を設定した状態を示す斜視図である。図5は、図4中のA - A線断面図である。図6は、図4中のB - B線断面図である。図7は、図3に示すワークの斜視図であって、各目標位置を制御点が通過する順番を矢印で示した図である。図8は、図4中のA - A線断面図であって、作業を行っている状態を示す図である。図9は、ワークの横断面図であって、2回目の作業を行う際の目標位置を設定した状態を示す図である。図10は、図2に示す制御装置が行う制御動作を説明するためのフローチャートであって、1回目の作業を行う際のフローチャートである。図11は、図2に示す制御装置が行う制御動作を説明するためのフローチャートであって、2回目の作業を行う際のフローチャートである。

30

40

【0010】

以下、本発明のロボットの制御方法およびロボットシステムを添付図面に示す好適な実施形態に基づいて詳細に説明する。なお、以下では、説明の便宜上、図1中の+Z軸方向、すなわち、上側を「上」、-Z軸方向、すなわち、下側を「下」とも言う。また、ロボットアームについては、図1中の基台11側を「基端」、その反対側、すなわち、エンドエフェクター20側を「先端」とも言う。また、図1中のZ軸方向、すなわち、上下方向を「鉛直方向」とし、X軸方向およびY軸方向、すなわち、左右方向を「水平方向」とする。

【0011】

図1に示すように、ロボットシステム100は、第1作業対象物であるワークW1および

50

第2作業対象物であるワークW2に対して順次作業を行うロボット1と、ロボット1を制御する制御装置3と、教示装置4と、を備え、本発明のロボットの制御方法を実行する。

【0012】

まず、ロボット1について説明する。

図1に示すロボット1は、本実施形態では単腕の6軸垂直多関節ロボットであり、基台11と、ロボットアーム10と、を有する。また、ロボットアーム10の先端部にエンドエフェクター20を装着することができる。エンドエフェクター20は、ロボット1の構成要件であってもよく、ロボット1の構成要件でなくてもよい。

【0013】

なお、ロボット1は、図示の構成に限定されず、例えば、双腕型の多関節ロボットであってもよい。また、ロボット1は、水平多関節ロボットであってもよい。

10

【0014】

基台11は、ロボットアーム10を下側から駆動可能に支持する支持体であり、例えば工場内の床に固定されている。ロボット1は、基台11が中継ケーブル18を介して制御装置3と電氣的に接続されている。なお、ロボット1と制御装置3との接続は、図1に示す構成のように有線による接続に限定されず、例えば、無線による接続であってもよく、さらには、インターネットのようなネットワークを介して接続されていてもよい。

【0015】

本実施形態では、ロボットアーム10は、第1アーム12と、第2アーム13と、第3アーム14と、第4アーム15と、第5アーム16と、第6アーム17とを有し、これらのアームが基台11側からこの順に連結されている。なお、ロボットアーム10が有するアームの数は、6つに限定されず、例えば、1つ、2つ、3つ、4つ、5つまたは7つ以上であってもよい。また、各アームの全長等の大きさは、それぞれ、特に限定されず、適宜設定可能である。

20

【0016】

基台11と第1アーム12とは、関節171を介して連結されている。そして、第1アーム12は、基台11に対し、鉛直方向と平行な第1回動軸を回動中心とし、その第1回動軸回りに回動可能となっている。第1回動軸は、基台11が固定される床の法線と一致している。

【0017】

第1アーム12と第2アーム13とは、関節172を介して連結されている。そして、第2アーム13は、第1アーム12に対し、水平方向と平行な第2回動軸を回動中心として回動可能となっている。第2回動軸は、第1回動軸に直交する軸と平行である。

30

【0018】

第2アーム13と第3アーム14とは、関節173を介して連結されている。そして、第3アーム14は、第2アーム13に対して水平方向と平行な第3回動軸を回動中心として回動可能となっている。第3回動軸は、第2回動軸と平行である。

【0019】

第3アーム14と第4アーム15とは、関節174を介して連結されている。そして、第4アーム15は、第3アーム14に対し、第3アーム14の中心軸方向と平行な第4回動軸を回動中心として回動可能となっている。第4回動軸は、第3回動軸と直交している。

40

【0020】

第4アーム15と第5アーム16とは、関節175を介して連結されている。そして、第5アーム16は、第4アーム15に対して第5回動軸を回動中心として回動可能となっている。第5回動軸は、第4回動軸と直交している。

【0021】

第5アーム16と第6アーム17とは、関節176を介して連結されている。そして、第6アーム17は、第5アーム16に対して第6回動軸を回動中心として回動可能となっている。第6回動軸は、第5回動軸と直交している。

【0022】

50

また、第6アーム17は、ロボットアーム10の中で最も先端側に位置するロボット先端部となっている。この第6アーム17は、ロボットアーム10の駆動により、エンドエフェクター20ごと回転することができる。

【0023】

ロボット1は、駆動部としてのモーターM1、モーターM2、モーターM3、モーターM4、モーターM5およびモーターM6と、エンコーダーE1、エンコーダーE2、エンコーダーE3、エンコーダーE4、エンコーダーE5およびエンコーダーE6とを備える。モーターM1は、関節171に内蔵され、基台11と第1アーム12とを相対的に回転させる。モーターM2は、関節172に内蔵され、第1アーム12と第2アーム13とを相対的に回転させる。モーターM3は、関節173に内蔵され、第2アーム13と第3アーム14とを相対的に回転させる。モーターM4は、関節174に内蔵され、第3アーム14と第4アーム15とを相対的に回転させる。モーターM5は、関節175に内蔵され、第4アーム15と第5アーム16とを相対的に回転させる。モーターM6は、関節176に内蔵され、第5アーム16と第6アーム17とを相対的に回転させる。

10

【0024】

また、エンコーダーE1は、関節171に内蔵され、モーターM1の位置を検出する。エンコーダーE2は、関節172に内蔵され、モーターM2の位置を検出する。エンコーダーE3は、関節173に内蔵され、モーターM3の位置を検出する。エンコーダーE4は、関節174に内蔵され、モーターM4の位置を検出する。エンコーダーE5は、関節175に内蔵され、モーターM5の位置を検出する。エンコーダーE6は、関節176に内蔵され、モーターM6の位置を検出する。

20

【0025】

エンコーダーE1～E6は、制御装置3と電氣的に接続されており、モーターM1～モーターM6の位置情報、すなわち、回転量が制御装置3に電気信号として送信される。そして、この情報に基づいて、制御装置3は、モーターM1～モーターM6を、図示しないモータードライバを介して駆動させる。すなわち、ロボットアーム10を制御するということは、モーターM1～モーターM6を制御することである。

【0026】

また、ロボットアーム10の先端には、制御点CPが設定されている。制御点CPは、ロボットアーム10の制御を行う際の基準となる点のことである。ロボットシステム100では、ロボット座標系で制御点CPの位置を把握し、制御点CPが所望の位置に移動するようにロボットアーム10を駆動する。

30

【0027】

また、ロボット1では、ロボットアーム10に、力を検出する力検出部19が着脱自在に設置される。そして、ロボットアーム10は、力検出部19が設置された状態で駆動することができる。力検出部19は、本実施形態では、6軸力覚センサーである。力検出部19は、互いに直交する3個の検出軸上の力の大きさと、当該3個の検出軸まわりのトルクの大きさとを検出する。すなわち、互いに直交するX軸、Y軸、Z軸の各軸方向の力成分と、X軸回りとなるW方向の力成分と、Y軸回りとなるV方向の力成分と、Z軸回りとなるU方向の力成分とを検出する。なお、本実施形態では、Z軸方向が鉛直方向となっている。また、各軸方向の力成分を「並進力成分」と言い、各軸回りの力成分を「トルク成分」と言うこともできる。また、力検出部19は、6軸力覚センサーに限定されず、他の構成のものであってもよい。

40

【0028】

本実施形態では、力検出部19は、第6アーム17に設置されている。なお、力検出部19の設置箇所としては、第6アーム17、すなわち、最も先端側に位置するアームに限定されず、例えば、他のアームや、隣り合うアーム同士の間であってもよい。

【0029】

力検出部19には、エンドエフェクター20を着脱可能に装着することができる。エンドエフェクター20は、本実施形態では、作業対象物であるワークW1およびワークW2の

50

研磨を行う研磨機である。この研磨機は、外周部に砥粒を有する研磨部材 2 1 と、研磨部材 2 1 を回転させる図示しないモーターと、モーターを駆動する図示しない電源と、を有する。また、ロボット座標系において、研磨部材 2 1 の先端面の任意の位置、好ましくは中心にツールセンターポイント T C P が設定されている。なお、これに限定されず、ツールセンターポイント T C P は、研磨部材 2 1 の外周部に設定されていてもよい。

【 0 0 3 0 】

前述したように、ロボットシステム 1 0 0 では、ロボット座標系で制御点 C P の位置を把握し、制御点 C P が所望の位置に移動するようにロボットアーム 1 0 を駆動する。また、エンドエフェクター 2 0 の種類、特に、長さを把握しておくことにより、ツールセンターポイント T C P と制御点 C P とのオフセット量を把握することができる。このため、ツールセンターポイント T C P の位置をロボット座標系で把握することができる。したがって、ツールセンターポイント T C P を制御の基準とすることができる。すなわち、制御点 C P の位置を制御するということは、ツールセンターポイント T C P の位置を制御することである。また、後述するように、ツールセンターポイント T C P の位置を記憶するということは、制御点 C P の位置を記憶することである。

10

【 0 0 3 1 】

また、以下では、ワーク W 1 およびワーク W 2 に作業を行う際、エンドエフェクター 2 0 において、少なくともツールセンターポイント T C P の位置は、ワーク W 1 およびワーク W 2 と接触することとする。

【 0 0 3 2 】

また、本実施形態では、エンドエフェクター 2 0 は、研磨機で構成されているが、本発明ではこれに限定されず、例えば、研削機、切削機等や、ドライバー、レンチ等の工具であってもよく、吸引、挟持によりワーク W 1 およびワーク W 2 を把持するハンドであってもよい。

20

【 0 0 3 3 】

また、本実施形態では、図 1 および図 3 に示すように、ワーク W 1 およびワーク W 2 は、横断面形状が円形の長尺体で構成され、その長手方向の途中が 2 か所湾曲した部材として説明する。

【 0 0 3 4 】

ワーク W 1 およびワーク W 2 は、同種の作業対象物である。ここで、「同種の作業対象物」とは、全体形状が一致している場合はもちろん、作業対象部位の寸法が一致しており、作業対象部位以外の部位の形状が異なっている場合も含む。また、「寸法が一致」とは、同一部位で比較したときの寸法誤差が、1 m m 以下のことを言う。

30

【 0 0 3 5 】

また、ロボット 1 は、ワーク W 1 およびワーク W 2 に対して同種の作業を行う。ロボットが行う作業としては、研磨、研削、切削、組み立て等が挙げられる。「同種の作業」とは、これらのカテゴリーが同じ作業であり、同じ工具を用いて行う作業のことを言う。

【 0 0 3 6 】

次に、制御装置 3 および教示装置 4 について説明する。

制御部としての制御装置 3 は、ロボット 1 から離間して配置されており、プロセッサの 1 例である C P U (Central Processing Unit) が内蔵されたコンピューター等で構成することができる。この制御装置 3 は、ロボット 1 の基台 1 1 に内蔵されていてもよい。

40

【 0 0 3 7 】

制御装置 3 は、中継ケーブル 1 8 によりロボット 1 と通信可能に接続される。また、制御装置 3 は、教示装置 4 とケーブルで、または無線通信可能に接続される。教示装置 4 は、専用のコンピューターであってもよいし、ロボット 1 を教示するためのプログラムがインストールされた汎用のコンピューターであってもよい。例えばロボット 1 を教示するための専用装置であるティーチングペンダント等を教示装置 4 の代わりに用いても良い。さらに、制御装置 3 と教示装置 4 とは、別々の筐体を備えていてもよいし、一体に構成されて

50

いてもよい。

【0038】

また、教示装置4には、制御装置3に後述する目標位置 S_t と目標力 f_{S_t} とを引数とする実行プログラムを生成して制御装置3にロードするためのプログラムがインストールされていてもよい。教示装置4は、ディスプレイ41、プロセッサ、RAMやROMを備え、これらのハードウェア資源が教示プログラムと協働して実行プログラムを生成する。

【0039】

図2に示すように、制御装置3は、ロボット1の制御を行うための制御プログラムがインストールされたコンピューターである。制御装置3は、プロセッサや図示しないRAMやROMを備え、これらのハードウェア資源がプログラムと協働することによりロボット1を制御する。

10

【0040】

また、図2に示すように、制御装置3は、目標位置設定部3Aと、駆動制御部3Bと、記憶部3Cと、を有する。記憶部3Cは、例えば、RAM(Random Access Memory)等の揮発性メモリー、ROM(Read Only Memory)等の不揮発性メモリー、着脱式の外部記憶装置等で構成される。記憶部3Cには、本発明のロボットの制御方法を実行するためのプログラム等、ロボット1を作動させるための動作プログラムや、ワークW1およびワークW2の形状に関する情報、および、ワークW1およびワークW2が配置されるロボット座標系における位置が記憶されている。また、記憶部3Cには、後述する第1位置情報や、第2位置情報等が記憶される。

20

【0041】

目標位置設定部3Aは、ワークW1およびワークW2に対して所定の作業を実行するための目標位置 S_t および経路計画を設定する。

【0042】

まず、目標位置設定部3Aは、ワークW1およびワークW2の形状に関する情報、および、ワークW1およびワークW2が配置されるロボット座標系における位置を記憶部3Cから取得する。なお、記憶部3Cに記憶されているこれらの情報は、例えば作業者が教示装置4を用いて入力した3次元データから得られたものであってもよく、図示しない撮像装置がワークW1およびワークW2の撮像を行い、その撮像データから得られたものであってもよい。

30

【0043】

次いで、目標位置設定部3Aは、図4に示すように、ワークW1に対し、目標位置 S_t をロボット座標系で設定する。目標位置設定部3Aは、図5および図6に示すように、ワークW1の外表面よりも奥まった位置、すなわち、内側に目標位置 S_t を複数設定する。目標位置 S_t をこのように設定することにより、後述する第1作業時に、より確実にエンドエフェクター20とワークW1を接触させることができ、より正確な作業を行うことができる。

【0044】

また、目標位置設定部3Aは、各目標位置 S_t を所定の間隔で設定する。これらの間隔は、全て同じであってもよく、異なる箇所があってもよい。また、これらの間隔は、予め設定されていてもよく、教示装置4を用いて作業者が設定する構成であってもよい。

40

【0045】

次いで、各目標位置 S_t に対してロボットアーム10の制御点CPまたはツールセンターポイントTCPが移動する順番を設定する。すなわち、ロボットアーム10の動作経路を設定する。例えば、動作経路は、最初の目標位置 S_t を作業開始位置として、隣り合う目標位置 S_t を順次通過するような経路である。なお、動作経路は、予め設定されていてもよく、教示装置4を用いて作業者が設定する構成であってもよい。また、「目標位置 S_t に対してロボットアーム10の制御点CPまたはツールセンターポイントTCPが移動する」とは、制御点CPまたはツールセンターポイントTCPが目標位置 S_t と一致するまで移動しなくても、目標位置 S_t を目標として移動することを言う。

50

【 0 0 4 6 】

また、作業開始位置は、実際にワークW1が置かれている位置や、ロボットアーム10の姿勢、すなわち、制御点CPの位置に応じて設定することができる。例えば、制御点CPに一番近い目標位置 S_t を作業開始位置とすることができる。

【 0 0 4 7 】

なお、各目標位置 S_t に対してロボットアーム10の制御点CPまたはツールセンターポイントTCPが移動する順番を設定する際、各目標位置 S_t に対してロボットアーム10が接近する姿勢も設定する。すなわち、各目標位置 S_t に対して順番を設定する際、目標位置 S_t ごとにどの方向からどのような姿勢で接近するかを紐づけて記憶部3Cに記憶する。

10

【 0 0 4 8 】

駆動制御部3Bは、ロボットアーム10の駆動を制御するものであり、位置制御部30と、座標変換部31と、座標変換部32と、補正部33と、力制御部34と、指令統合部35と、を有する。

【 0 0 4 9 】

位置制御部30は、予め作成されたコマンドで指定される位置に従って、ロボット1のツールセンターポイントTCPの位置を制御する位置指令信号を生成する。すなわち、位置制御部30は、各目標位置 S_t にツールセンターポイントTCPが移動する位置指令値Pを生成する。

【 0 0 5 0 】

ここで、制御装置3は、ロボット1の動作を力制御等で制御することが可能である。「力制御」とは、力検出部19の検出結果に基づいて、エンドエフェクター20の位置、すなわち、ツールセンターポイントTCPの位置や、第1アーム12～第6アーム17の姿勢を変更したりするロボット1の動作の制御のことである。

20

【 0 0 5 1 】

力制御には、例えば、フォーストリガー制御と、インピーダンス制御とが含まれている。フォーストリガー制御では、力検出部19により力検出を行い、その力検出部19により所定の力を検出するまで、ロボットアーム10に移動や姿勢の変更の動作をさせる。

【 0 0 5 2 】

インピーダンス制御は、倣い制御を含む。まず、簡単に説明すると、インピーダンス制御では、ロボットアーム10の先端部に加わる力を可能な限り所定の力に維持、すなわち、力検出部19により検出される所定方向の力を可能な限り目標力 f_{st} に維持するようにロボットアーム10の動作を制御する。これにより、例えば、ロボットアーム10に対してインピーダンス制御を行うと、ロボットアーム10は、対象物や、オペレーターから加わった外力に対し、前記所定方向について倣う動作を行う。なお、目標力 f_{st} には、0も含まれる。例えば、倣い動作の場合には、目標値を「0」とすることができる。なお、目標力 f_{st} を0以外の数値とすることもできる。この目標力 f_{st} は、作業者が適宜設定可能である。

30

【 0 0 5 3 】

記憶部3Cは、モーターM1～モーターM6の回転角度の組み合わせと、ロボット座標系におけるツールセンターポイントTCPの位置との対応関係を記憶している。また、制御装置3は、ロボット1が行う作業の工程ごとに目標位置 S_t と目標力 f_{st} との少なくとも一方をコマンドに基づいて記憶部3Cに記憶する。目標位置 S_t および目標力 f_{st} を引数、すなわち、パラメータとするコマンドは、ロボット1が行う作業の工程ごとに設定される。

40

【 0 0 5 4 】

駆動制御部3Bは、設定された目標位置 S_t と目標力 f_{st} とがツールセンターポイントTCPにて一致されるように、コマンドに基づいて第1アーム12～第6アーム17を制御する。目標力 f_{st} とは、第1アーム12～第6アーム17の動作に応じて力検出部19が検出すべき力である。ここで、「S」の文字は、ロボット座標系を規定する軸の方向

50

(X, Y, Z, U, V, W)のいずれか1つの方向を表すこととする。また、 S は、 S 方向の位置も表すこととする。例えば、 $S = X$ の場合、ロボット座標系にて設定された目標位置の X 方向成分が $S_t = X_t$ となり、目標力の X 方向成分が $f_{S_t} = f_{X_t}$ となる。

【0055】

また、駆動制御部3Bでは、モーターM1～モーターM6の回転角度を取得すると、図2に示す座標変換部31が、対応関係に基づいて、当該回転角度をロボット座標系におけるツールセンターポイントTCPの位置 $S(X, Y, Z, V, W, U)$ に変換する。そして、座標変換部32が、ツールセンターポイントTCPの位置 S と、力検出部19の検出値とに基づいて、力検出部19に実際に作用している作用力 f_S をロボット座標系において特定する。

10

【0056】

作用力 f_S の作用点は、ツールセンターポイントTCPとは別に原点として定義される。原点は、力検出部19が力を検出している点に対応する。なお、制御装置3は、ロボット座標系におけるツールセンターポイントTCPの位置 S ごとに、力検出部19のセンサー座標系における検出軸の方向を規定した対応関係を記憶している。従って、制御装置3は、ロボット座標系におけるツールセンターポイントTCPの位置 S と対応関係とに基づいて、ロボット座標系における作用力 f_S を特定できる。また、ロボットに作用するトルクは、作用力 f_S と、接触点から力検出部19までの距離とから算出することができ、トルク成分として特定される。なお、ワークW1およびワークW2に対してエンドエフェクター20が接触して作業を行う場合、接触点は、ツールセンターポイントTCPとみなすことができる。

20

【0057】

補正部33は、作用力 f_S に対して重力補償を行う。重力補償とは、作用力 f_S から重力に起因する力やトルクの成分を除去することである。重力補償を行った作用力 f_S は、ロボットアーム10またはエンドエフェクター20に作用している重力以外の力と見なすことができる。

【0058】

また、補正部33は、作用力 f_S に対して慣性補償を行う。慣性補償とは、作用力 f_S から慣性力に起因する力やトルクの成分を除去することである。慣性補償を行った作用力 f_S は、ロボットアーム10またはエンドエフェクター20に作用している慣性力以外の力と見なすことができる。

30

【0059】

力制御部34は、インピーダンス制御を行う。インピーダンス制御は、仮想の機械的インピーダンスをモーターM1～モーターM6によって実現する能動インピーダンス制御である。制御装置3は、このようなインピーダンス制御を、ワークの嵌合作業、螺合作業、研磨作業等、エンドエフェクター20が対象物であるワークから力を受ける接触状態の工程や、直接教示を行う際に実行する。なお、このような工程以外であっても、例えば、人がロボット1に接触した際にインピーダンス制御を行うことにより、安全性を高めることができる。

【0060】

インピーダンス制御では、目標力 f_{S_t} を後述する運動方程式に代入してモーターM1～モーターM6の回転角度を導出する。制御装置3がモーターM1～モーターM6を制御する信号は、PWM(Pulse Width Modulation)変調された信号である。

40

【0061】

また、制御装置3は、エンドエフェクター20が外力を受けない非接触状態の工程では、目標位置 S_t から線形演算で導出する回転角度でモーターM1～モーターM6を制御する。目標位置 S_t から線形演算で導出する回転角度でモーターM1～モーターM6を制御するモードのことを、位置制御モードと言う。

【0062】

制御装置3は、目標力 f_{S_t} と作用力 f_S とをインピーダンス制御の運動方程式に代入す

50

ることにより、力由来補正量 S を特定する。力由来補正量 S とは、ツールセンターポイント T C P が機械的インピーダンスを受けた場合に、目標力 f_{S_t} との力偏差 $f_S(t)$ を解消するために、ツールセンターポイント T C P が移動すべき位置 S の大きさを意味する。下記の式 (1) は、インピーダンス制御の運動方程式である。

【 0 0 6 3 】

【 数 1 】

$$m\Delta\ddot{S}(t) + d\Delta\dot{S}(t) + k\Delta S(t) = \Delta f_S(t) \quad \dots (1)$$

【 0 0 6 4 】

式 (1) の左辺は、ツールセンターポイント T C P の位置 S の 2 階微分値に仮想質量係数 m (以下、「質量係数 m 」と言う) を乗算した第 1 項と、ツールセンターポイント T C P の位置 S の微分値に仮想粘性係数 d (以下、「粘性係数 d 」と言う) を乗算した第 2 項と、ツールセンターポイント T C P の位置 S に仮想弾性係数 k (以下、「弾性係数 k 」と言う) を乗算した第 3 項とによって構成される。式 (1) の右辺は、目標力 f_{S_t} から現実の力 f を減算した力偏差 $f_S(t)$ によって構成される。式 (1) における微分とは、時間による微分を意味する。ロボット 1 が行う工程において、目標力 f_{S_t} として一定値が設定される場合もあるし、目標力 f_{S_t} として時間の関数が設定される場合もある。

10

【 0 0 6 5 】

質量係数 m は、ツールセンターポイント T C P が仮想的に有する質量を意味し、粘性係数 d は、ツールセンターポイント T C P が仮想的に受ける粘性抵抗を意味し、弾性係数 k は、ツールセンターポイント T C P が仮想的に受ける弾性力のバネ定数を意味する。

20

【 0 0 6 6 】

質量係数 m の値が大きくなるにつれて、動作の加速度が小さくなり、質量係数 m の値が小さくなるにつれて動作の加速度が大きくなる。粘性係数 d の値が大きくなるにつれて、動作の速度が遅くなり、粘性係数 d の値が小さくなるにつれて動作の速度が速くなる。弾性係数 k の値が大きくなるにつれて、バネ性が大きくなり、弾性係数 k の値が小さくなるにつれて、バネ性が小さくなる。

【 0 0 6 7 】

本明細書では、質量係数 m 、粘性係数 d および弾性係数 k の各々を力制御パラメータと言う。これら質量係数 m 、粘性係数 d および弾性係数 k は、方向ごとに異なる値に設定されてもよいし、方向に関わらず共通の値に設定されてもよい。また、質量係数 m 、粘性係数 d および弾性係数 k は、作業者が、作業前に適宜設定可能である。

30

【 0 0 6 8 】

このように、ロボットシステム 1 0 0 では、力検出部 1 9 の検出値、予め設定された力制御パラメータ、および、予め設定された目標力から力由来補正量 S を求める。力由来補正量 S は、外力を受けたその位置からツールセンターポイント T C P を移動すべき位置との差のことである。

【 0 0 6 9 】

そして、指令統合部 3 5 は、位置制御部 3 0 が生成した位置指令値 P に、力由来補正量 S を合算する。これを随時行うことにより、指令統合部 3 5 は、外力を受けた位置に移動させるために用いていた位置指令値 P から、新たな位置指令値である位置指令値 P' を求める。なお、位置指令値 P は、目標位置 S_t にツールセンターポイント T C P を移動させるための指令値のことである。

40

【 0 0 7 0 】

そして、この位置指令値 P' を座標変換部 3 1 がロボット座標に変換し、実行部 3 5 1 が実行することにより、力由来補正量 S を加味した位置にツールセンターポイント T C P を移動させて、外力が加わった衝撃を緩和し、ロボット 1 に接触した対象物に対し、それ以上負荷がかかるのを緩和することができる。

【 0 0 7 1 】

50

ここで、力制御において、力検出部 19 により検出される所定方向の力を可能な限り目標力 f_{st} に維持するためには、ロボットアーム 10 の動作速度を比較的遅くする必要がある。特に、エンドエフェクター 20 とワーク W1 とをより確実に接触させるためには、図 5 および図 6 に示すように、ワーク W1 の外表面よりも奥まった位置、すなわち、内側に目標位置 S_t を設定する。このため、実際にエンドエフェクター 20 とワーク W1 とが接触する位置は、ずれている。エンドエフェクター 20 とワーク W1 とが接触するまでは、いつ接触してもワーク W1 に過剰な負荷がかからないようにロボットアーム 10 の動作速度を比較的遅くする必要がある。このため、図 8 に示すように、実際にエンドエフェクター 20 とワーク W1 とが接触する位置と、目標位置 S_t とのずれ量 D が比較的大きいと、ロボットアーム 10 の動作速度をさらに遅くする必要があり、作業時間が長くなってしま 10
う。特に、複数のワークに対して作業を行う場合、累積の作業時間が長くなってしま 10
う。これに対し、本発明では、以下のようにして、累積の作業時間を短縮することができる。

【0072】

なお、以下では、ワーク W1 に設定された目標位置 S_t を目標位置 S_{t1} と言い、ワーク W2 に設定された目標位置 S_t を目標位置 S_{t2} と言う。また、ワーク W1 に対する作業を第 1 作業と言い、ワーク W2 に対する作業を第 2 作業と言う。

【0073】

ロボットシステム 100 では、第 1 作業を行う際、目標位置設定部 3A が、図 5 および図 6 に示すように、ワーク W1 の外表面よりも奥まった位置、すなわち、内側に目標位置 S_t を複数設定する。これは、前述したように、力制御によりロボットアーム 10 を駆動する際、エンドエフェクター 20 とワーク W1 とをより確実に接触させるためである。 20

【0074】

作業開始位置の目標位置 S_{t1} に向かってエンドエフェクター 20 を移動させて、エンドエフェクター 20 とワーク W1 とが接触すると、力検出部 19 がワーク W1 からの反力を検出する。そして、この反力が目標力 f_{st} と一致するように、前述したような力制御を行う。そして、力制御でロボットアーム 10 を駆動しつつ、ツールセンターポイント TCP が予め設定された順番で目標位置 S_{t1} に向かうようロボットアーム 10 を駆動することにより、第 1 作業が行われる。

【0075】

また、各目標位置 S_{t1} において、目標位置 S_{t1} からずれ量 D をキャンセルした位置、すなわち、実際に作業を行った位置を記憶部 3C に記憶する。すなわち、第 1 作業において、ツールセンターポイント TCP が通過した軌道を記憶部 3C に記憶する。なお、軌道とは、ツールセンターポイント TCP が移動した点の集合のことを言う。なお、記憶する間隔、タイミングは、特に限定されないが、本実施形態では、目標位置 S_{t1} ごとに記憶することとする。 30

【0076】

第 1 作業が完了すると第 2 作業に移行する。なお、第 1 作業が完了したとき、作業者、または、ロボットアーム 10 がワーク W1 と同じ位置にワーク W2 を搬送してきてもよく、図 1 に示すように、異なる位置にて作業を順次行ってもよい。この場合、ワーク W1 およびワーク W2 の位置ずれを考慮して、目標位置 S_{t1} および目標位置 S_{t2} をそれぞれ設定する。 40

【0077】

そして、ワーク W2 に目標位置 S_{t2} を設定する際、記憶部 3C に記憶されている第 1 位置情報に基づいて、ロボットアーム 10 に対する位置指令値 P を更新する。具体的には、図 9 に示すように、第 1 作業で実際にツールセンターポイント TCP が移動した第 1 位置情報を目標位置 S_{t2} に設定する。次いで、この目標位置 S_{t2} に対応する位置指令値 P を更新して、更新値を算出する。つまり、更新値とは、更新された位置指令値 P のことである。そして、この更新値に基づいて、第 2 作業を力制御により実行する。これにより、第 2 作業における目標位置 S_{t2} を、第 1 作業における目標位置 S_{t1} よりも外表面側にシフトさせることができる。すなわち、第 1 作業において実際にツールセンターポイント 50

T C P が通過した位置を目標位置として力制御を行うことができる。よって、第 2 作業におけるずれ量 D を第 1 作業よりも小さくすることができ、第 2 作業では、第 1 作業よりもロボットアーム 10 の動作速度を早くすることができる。その結果、第 2 作業を迅速に行うことができ、累積の作業時間を短縮することができる。

【0078】

このように、本発明のロボットシステム 100 は、第 1 作業対象物であるワーク W_1 に対して第 1 作業を行い、ワーク W_1 と同種の第 2 作業対象物であるワーク W_2 に対して第 1 作業と同種の第 2 作業を行うロボットアーム 10 と、記憶部 3C を有し、ロボットアーム 10 の作動を制御する制御部である制御装置 3 と、を備える。また、制御装置 3 は、所定の位置指令値に基づいて力制御によりロボットアーム 10 を動作させてワーク W_1 に対して第 1 作業を実行し、ロボットアーム 10 に設定された制御点 CP が、第 1 作業において通過した軌道の第 1 位置情報を記憶し、記憶した第 1 位置情報に基づいてロボットアーム 10 に対する位置指令値を更新し、更新した位置指令値 P である更新値に基づいて力制御によりロボットアームを動作させてワーク W_2 に対して第 2 作業を実行する。これにより、第 2 作業において、実際にエンドエフェクター 20 とワーク W_1 とが接触する位置と、目標位置 S_t とのずれ量 D を、第 1 作業よりも小さくすることができる。よって、第 2 作業では、第 1 作業よりもロボットアーム 10 の動作速度を早くすることができる。その結果、第 2 作業を迅速に行うことができ、累積の作業時間を短縮することができる。

10

【0079】

次に、図 10 および図 11 に示すフローチャートを参照しつつ説明する。まず、図 10 に示すフローチャートを用いて、ワーク W_1 に対する作業について説明する。

20

【0080】

まず、ステップ S_{101} において、ワーク W_1 に対し、目標位置 S_{t1} を設定する。この目標位置 S_{t1} は、ワーク W_1 の外表面よりも奥まった位置、すなわち、内側に位置している。また、本ステップにおいて、各目標位置 S_{t1} を通過する順番も設定する。

【0081】

次いで、ステップ S_{102} において、力制御により第 1 作業を開始するとともに、逐次軌道計画処理を行う。この逐次軌道計画処理によって、軌道計画で生成した軌道に従ったアームの位置指令値 P を計算し、力制御によりロボットアーム 10 を駆動する。

【0082】

ステップ S_{103} において、位置指令値 P に力由来補正量 S を合算して、位置指令値 P' を算出する。すなわち、力検出部 19 が検出した検出値、すなわち、ワーク W_1 から受けた反力に応じて、力由来補正量 S を算出し、位置指令値 P に合算して、新たな位置指令値 P' を求める。

30

【0083】

次いで、ステップ S_{104} では、ステップ S_{103} で算出した位置指令値 P' を記憶する。すなわち、第 1 作業において、ツールセンターポイント T C P が通過した軌道、すなわち、第 1 位置情報を記憶部 3C に記憶する。

【0084】

次いで、ステップ S_{105} では、ステップ S_{103} で算出した位置指令値 P' をロボットアーム 10 に送信する。これにより、ワーク W_1 に過剰な負荷をかけることなく第 1 作業を行うことができる。

40

【0085】

次いで、ステップ S_{106} において、全ての目標位置 S_{t1} を目標として移動が完了したか否かを判断する。未だ完了していないと判断した場合、ステップ S_{102} に戻り、以下のステップを順次繰り返す。

【0086】

以上のような第 1 作業において、ステップ S_{102} 、ステップ S_{103} およびステップ S_{105} が、第 1 作業ステップである。また、ステップ S_{104} が第 1 記憶ステップである。なお、本実施形態では、第 1 作業ステップと第 1 記憶ステップとを並行して行うが、本

50

発明ではこれに限定されず、第1作業ステップと第1記憶ステップとを順次行ってもよい。すなわち、ステップS102、ステップS103およびステップS106が完了した後にステップS104を行ってもよい。

【0087】

次に、第2作業について説明する。

まず、ステップS201において、1回目の作業時のデータを読み出し、目標位置を設定する。すなわち、第1作業においてステップS104で記憶した第1位置情報を読み出し、目標位置 S_t2 として設定する。さらに換言すれば、第1作業時にツールセンターポイントTCPが移動した位置を目標位置 S_t2 に設定する。

【0088】

次いで、ステップS202において、力制御により第2作業を開始するとともに、逐次軌道計画処理を行う。このステップでは、第1位置情報に基づいて位置指令値を更新し、更新値に基づいて力制御を行う。これにより、ロボットアーム10の動作速度を第1作業よりも早くすることができる。

【0089】

次いで、ステップS203において、力検出部19が検出した検出値、すなわち、ワークW1から受けた反力が所定値を超えたか否かを判断する。ここで言う所定値とは、検出した力の大きさの閾値であり、予め記憶部3Cに記憶されている。

【0090】

ステップS203において、力検出部19が検出した検出値が所定値を超えていないと判断した場合、ステップS204、ステップS205、ステップS206およびステップS207を順次行う。これらのステップは、第1作業におけるステップS103～ステップS106と略同様であるため、その説明を省略する。なお、ステップS206は、第2記憶ステップである。

【0091】

ステップS203において、力検出部19が検出した検出値が所定値を超えたと判断した場合、ステップS105において、ロボットアーム10の動作速度を調節する。

ステップS105としては、以下のような2つのパターンがある。

【0092】

1つ目のパターンは、第2作業ステップでは、ロボットアーム10に加わる力が所定値を超えた場合、制御点CPの移動速度を低下させてロボットアーム10を動作させる。これにより、第2作業では、第1作業よりも動作速度を上げたとしても、ワークW2に過剰な負荷がかかるのを防止または抑制することができる。また、第2作業を止めることがないため、生産性を高めることができる。

【0093】

2つめのパターンは、第2作業ステップでは、ロボットアーム10に加わる力が所定値を超えた場合、ロボットアーム10の動作を停止する。これにより、第2作業では、第1作業よりも動作速度を上げたとしても、ワークW2に過剰な負荷がかかるのを防止または抑制することができる。また、動作を停止するため、より安全性を高めることができる。

【0094】

なお、2つめのパターンでは、例えば作業からの指示により、作業を再開する構成とすることができる。

【0095】

以上のような第2作業において、ステップS202、ステップS203、ステップS204、ステップS205、ステップS207およびステップS208が、第2作業ステップである。また、ステップS206が第2記憶ステップである。なお、本実施形態では、第2作業ステップと第2記憶ステップとを並行して行うが、本発明ではこれに限定されず、第2作業ステップと第2記憶ステップとを順次行ってもよい。すなわち、ステップS202、ステップS203、ステップS204、ステップS205、ステップS207およびステップS208が完了した後にステップS206を行ってもよい。

10

20

30

40

50

【0096】

以上説明したように、本発明のロボットの制御方法は、第1作業対象物であるワークW1に対して第1作業を行い、ワークW1と同種の第2作業対象物であるワークW2に対して第1作業と同種の第2作業を行うロボットアーム10を有するロボットの制御方法である。また、ロボットの制御方法は、所定の位置指令値に基づいて力制御によりロボットアーム10を動作させて第1作業対象物に対して第1作業を実行する第1作業ステップと、ロボットアーム10に設定された制御点CPが、第1作業ステップにおいて通過した軌道の第1位置情報を記憶する第1記憶ステップと、第1記憶ステップにおいて記憶した第1位置情報に基づいてロボットアーム10に対する位置指令値を更新し、更新した位置指令値Pである更新値に基づいて力制御によりロボットアーム10を動作させてワークW2に対して第2作業を実行する第2作業ステップと、を有する。これにより、第2作業において、実際にエンドエフェクター20とワークW1とが接触する位置と、目標位置 S_t とのずれ量Dを、第1作業よりも小さくすることができる。よって、第2作業では、第1作業よりもロボットアーム10の動作速度を早くすることができる。その結果、第2作業を迅速に行うことができ、累積の作業時間を短縮することができる。

10

【0097】

また、第1作業と第2作業とは、連続して行われる作業である。換言すれば、第1作業は、第2作業の直前の作業である。さらに換言すれば、ロボット1は、第1作業を行った後、他の作業をすることなく、第2作業を実行する。第1作業および第2作業がこのような関係であることにより、累積の作業時間を効果的に短縮することができる。

20

【0098】

また、図示はしないが、第2作業ステップが完了した後に、ワークW1およびワークW2とは別で、かつ、同種のワークに対して第3作業を行ってもよい。すなわち、ワークの数に応じて、第3作業ステップ、または、それ以降のステップを行ってもよい。この場合、第3作業ステップでは、第1位置情報および第2位置情報の平均値に基づいてロボットアームに対する位置指令値Pを更新し、更新値に基づいて前記ロボットアームを動作させて第3作業を行うのが好ましい。

【0099】

このように、本発明のロボットの制御方法は、第2作業ステップにおいて制御点CPが通過した軌道の第2位置情報を記憶する第2記憶ステップと、第1位置情報および第2位置情報の平均値に基づいてロボットアーム10に対する位置指令値Pを更新し、平均値に基づいて更新した位置指令値Pである更新値に基づいてロボットアーム10を動作させて第3作業を行う第3作業ステップと、を有する。これにより、従来と比較した場合、累積時間をさらに短縮することができる。また、第3作業ステップでは、第1位置情報および第2位置情報の平均値に基づいて位置指令値の更新値を求めるため、過去の傾向を考慮して作業を行うことができる。その結果、さらに迅速かつ正確に作業を行うことができる。

30

【0100】

なお、第3作業ステップでは、第2位置情報に基づいて位置指令値Pの更新値を算出してもよい。すなわち、直前の作業での位置情報に基づいて位置指令値Pの更新値を算出してもよい。

40

【0101】

また、第2作業では、目標位置 S_{t2} の数を第1作業での目標位置 S_{t1} の数よりも少なくしてもよい、すなわち、間引いてもよい。これにより、ロボットアーム10のさらに移動速度を早くことができ、より迅速な作業を行うことができる。

【0102】

また、第2作業では、力制御と位置制御とを併用してもよい。例えば、ワークW2の表面形状が複雑な部分に対しては力制御で作業を行い、ワークW2の表面形状が簡素な部分に対しては位置制御で作業を行ってもよい。これにより、作業の質を落とすことなく、さらに迅速に作業を行うことができる。

【0103】

50

< 第 2 実施形態 >

図 1 2 は、第 2 実施形態のロボットシステムの制御装置が生成する学習モデルの概念図である。

【 0 1 0 4 】

以下、図 1 2 を参照して本発明のロボットの制御方法およびロボットシステムの第 2 実施形態について説明するが、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項はその説明を省略する。

【 0 1 0 5 】

制御装置 3 は、図 1 2 に示すように、機械学習により学習モデル 2 0 0 を生成するモデル生成部 3 0 0 を有する。なお、機械学習により学習モデル 2 0 0 を生成するということは、入力データから反復的に学習し、各入力データから読み取れる特徴、傾向等を見出し、その結果を新たな入力データに当てはめて予測しつつ、学習モデル 2 0 0 を生成することを言う。

10

【 0 1 0 6 】

学習モデル 2 0 0 とは、入力値を受け取り、評価、判定を行い、その結果を出力値として出力するものごとを言う。入力値は、過去の作業において、制御点 C P が実際に通過した位置、すなわち、位置指令値、および、ロボットアーム 1 0 に加わる力であり、出力値は、位置指令値の更新値である。

【 0 1 0 7 】

モデル生成部 3 0 0 は、例えば、図 1 2 に示すようなリカレント型のニューラルネットワークを使用して構築することができる。具体的には、モデル生成部 3 0 0 は、入力層と、中間層と、出力層と、を有する構成とすることができる。各情報が、隣り合う層の情報と、ネットワークでつながり、より大きなネットワークが展開される。また、中間層は、図示の構成では、1 層であるが、複数層有しているのが好ましい。これにより、中間層の各層において、情報の重要性に重み付けを行うことができ、さらに正確な故障予測を行うことができる。

20

【 0 1 0 8 】

また、リカレント型のニューラルネットワークでは、前回の時刻の中間層の情報を、今回の時刻の中間層の情報に置き換えてネットワークを構築することができる。よって、時系列情報を考慮したネットワークを構築することができる。その結果、さらに正確な目標位置の設定を行うことができる。

30

【 0 1 0 9 】

なお、モデル生成部 3 0 0 における学習法としては、教師あり学習や、教師なし学習や、これらを組み合わせた学習法が挙げられる。教師あり学習の場合、出力値、または、その合否結果を入力値に反映することで、より正確な目標位置の設定を行うことができる。教師なし学習の場合、入力値と出力値のデータの組を大量に準備しておき、モデル生成部 3 0 0 に与えることで、それらのデータセットにある特徴を学習し、入力から結果を推定するモデル、すなわち、その関係性を帰納的に獲得することができる。よって、目標位置の合否の判定に関する情報が与えられなくても、正確な目標位置の設定を行うことができる。その結果、さらに迅速かつ正確な作業を行うことができる。例えば、リカレント型のニューラルネットワークに、例えば誤差逆伝播法を適用することにより、教師なし学習が可能となり、正確な目標位置の設定を行うことができる。

40

【 0 1 1 0 】

このように、制御部である制御装置 3 は、ロボットアーム 1 0 に対する位置指令値と、ロボットアーム 1 0 に加わる力を入力とし、更新値を出力とする学習モデル 2 0 0 を生成する。これにより、過去の作業において制御点 C P がどの位置を通過し、ロボットアーム 1 0 がどれだけの力を受けたかという傾向を考慮しつつ、更新値を出力することができる。よって、さらに正確な目標位置の設定を行うことができる。

【 0 1 1 1 】

< ロボットシステムの他の構成例 >

50

図 1 3 は、ロボットシステムについてハードウェアを中心として説明するためのブロック図である。

【 0 1 1 2 】

図 1 3 には、ロボット 1 とコントローラ 6 1 とコンピューター 6 2 が接続されたロボットシステム 1 0 0 A の全体構成が示されている。ロボット 1 の制御は、コントローラ 6 1 にあるプロセッサによりメモリーにある指令を読み出して実行されてもよいし、コンピューター 6 2 に存在するプロセッサによりメモリーにある指令を読み出してコントローラ 6 1 を介して実行されてもよい。

【 0 1 1 3 】

従って、コントローラ 6 1 とコンピューター 6 2 とのいずれか一方または両方を「制御装置」として捉えることができる。 10

【 0 1 1 4 】

< 変形例 1 >

図 1 4 は、ロボットシステムのハードウェアを中心とした変形例 1 を示すブロック図である。

【 0 1 1 5 】

図 1 4 には、ロボット 1 に直接コンピューター 6 3 が接続されたロボットシステム 1 0 0 B の全体構成が示されている。ロボット 1 の制御は、コンピューター 6 3 に存在するプロセッサによりメモリーにある指令を読み出して直接実行される。

従って、コンピューター 6 3 を「制御装置」として捉えることができる。 20

【 0 1 1 6 】

< 変形例 2 >

図 1 5 は、ロボットシステムのハードウェアを中心とした変形例 2 を示すブロック図である。

【 0 1 1 7 】

図 1 5 には、コントローラ 6 1 が内蔵されたロボット 1 とコンピューター 6 6 が接続され、コンピューター 6 6 が LAN 等のネットワーク 6 5 を介してクラウド 6 4 に接続されているロボットシステム 1 0 0 C の全体構成が示されている。ロボット 1 の制御は、コンピューター 6 6 に存在するプロセッサによりメモリーにある指令を読み出して実行されてもよいし、クラウド 6 4 上に存在するプロセッサによりコンピューター 6 6 を介してメモリーにある指令を読み出して実行されてもよい。

従って、コントローラ 6 1 とコンピューター 6 6 とクラウド 6 4 とのいずれか 1 つ、または、いずれか 2 つ、または、3 つを「制御装置」として捉えることができる。 30

【 0 1 1 8 】

以上、本発明のロボットの制御方法およびロボットシステムを図示の実施形態について説明したが、本発明は、これに限定されるものではない。また、ロボットシステムを構成する各部は、同様の機能を発揮し得る任意の構成のものとして置換することができる。また、任意の構成物が付加されていてもよい。

【 符号の説明 】 40

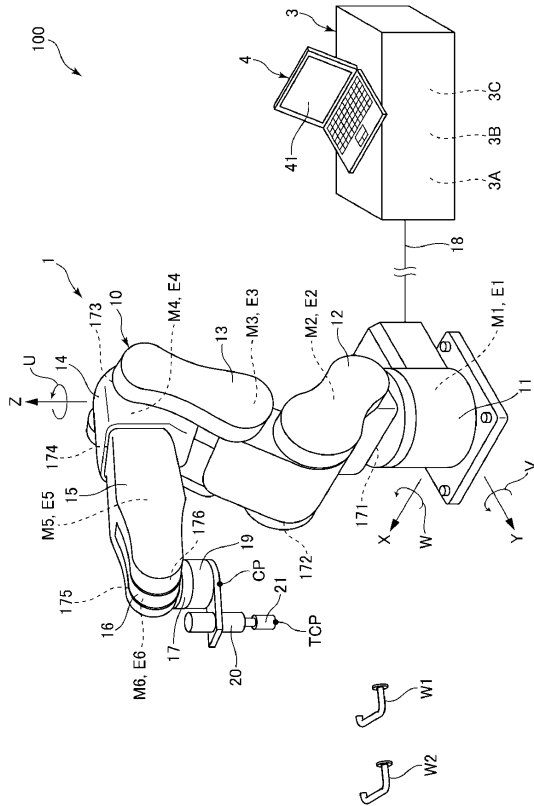
【 0 1 2 0 】

1 ... ロボット、 3 ... 制御装置、 3 A ... 目標位置設定部、 3 B ... 駆動制御部、 3 C ... 記憶部、 4 ... 教示装置、 1 0 ... ロボットアーム、 1 1 ... 基台、 1 2 ... 第 1 アーム、 1 3 ... 第 2 アーム、 1 4 ... 第 3 アーム、 1 5 ... 第 4 アーム、 1 6 ... 第 5 アーム、 1 7 ... 第 6 アーム、 1 8 ... 中継ケーブル、 1 9 ... 力検出部、 2 0 ... エンドエフェクター、 2 1 ... 研磨部材、 3 0 ... 位置制御部、 3 1 ... 座標変換部、 3 2 ... 座標変換部、 3 3 ... 補正部、 3 4 ... 力制御部、 3 5 ... 指令統合部、 4 1 ... ディスプレイ、 6 1 ... コントローラ、 6 2 ... コンピューター、 6 3 ... コンピューター、 6 4 ... クラウド、 6 5 ... ネットワーク、 6 6 ... コンピューター、 1 0 0 ... ロボットシステム、 1 0 0 A ... ロボットシステム、 1 0 0 B ... ロボットシステム、 1 0 0 C ... ロボットシステム、 1 7 1 ... 関節、 1 7 2 ... 関節、 1 7 3 ... 関節、 1 7 4 50

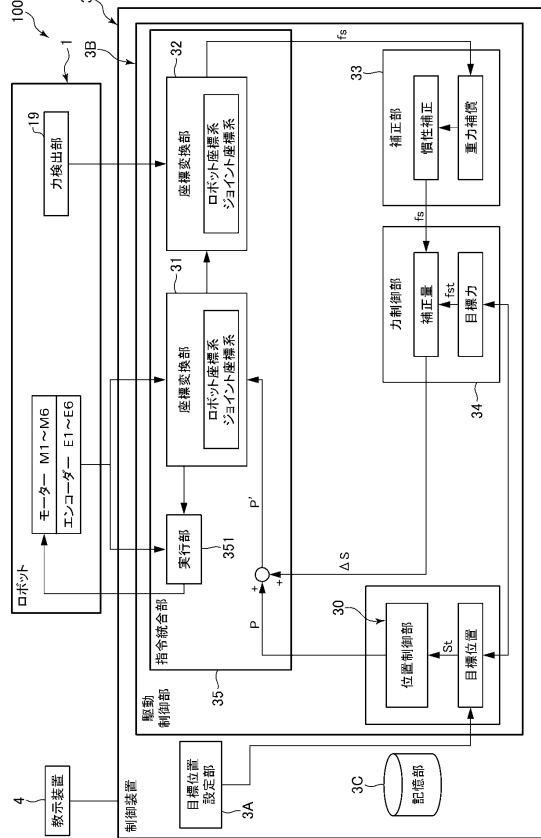
... 関節、175... 関節、176... 関節、200... 学習モデル、300... モデル生成部、351... 実行部、CP... 制御点、D... ずれ量、E1... エンコーダー、E2... エンコーダー、E3... エンコーダー、E4... エンコーダー、E5... エンコーダー、E6... エンコーダー、M1... モーター、M2... モーター、M3... モーター、M4... モーター、M5... モーター、M6... モーター、P... 位置指令値、P'... 位置指令値、St... 目標位置、St1... 目標位置、St2... 目標位置、TCP... ツールセンターポイント、W1... ワーク、W2... ワーク

【 図面 】

【 図 1 】



【 図 2 】

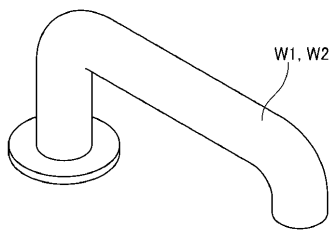


10

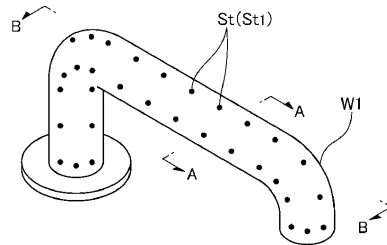
20

30

【 図 3 】

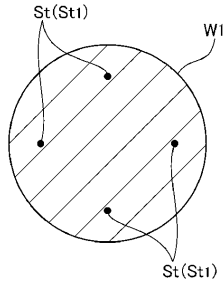


【 図 4 】

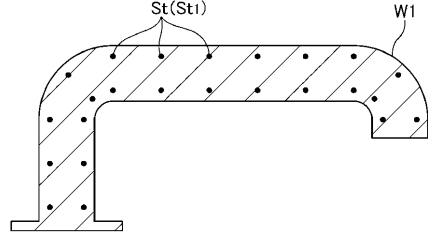


40

【 図 5 】

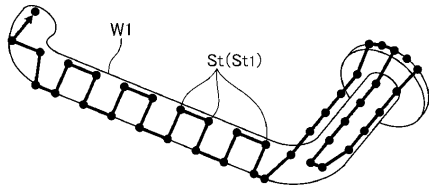


【 図 6 】

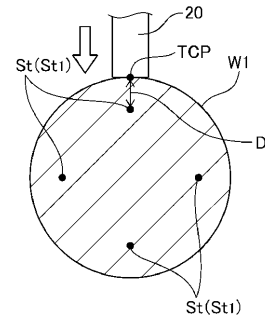


10

【 図 7 】

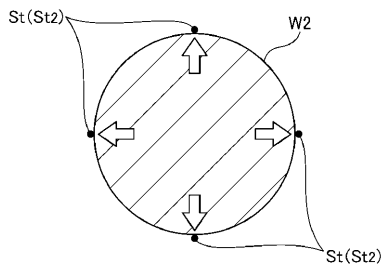


【 図 8 】

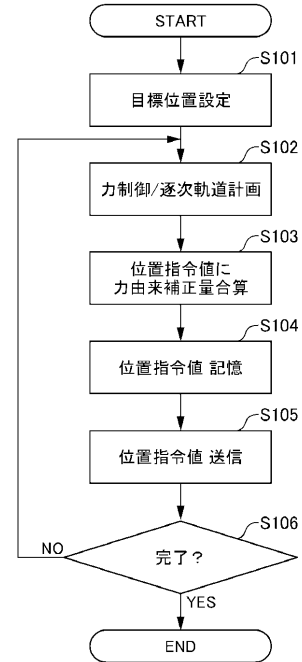


20

【 図 9 】



【 図 10 】

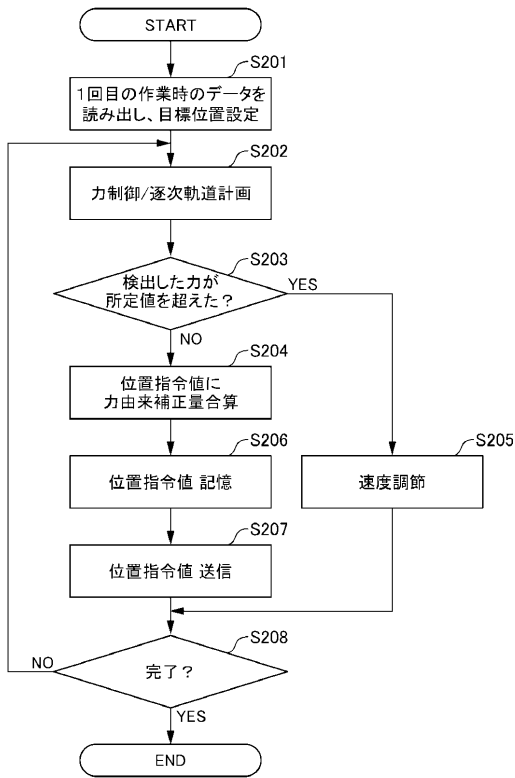


30

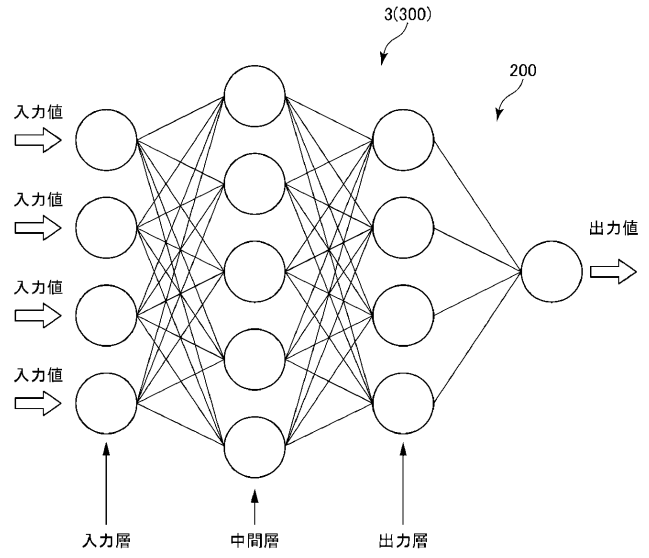
40

50

【 図 1 1 】



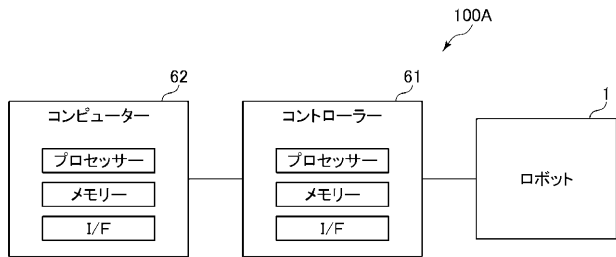
【 図 1 2 】



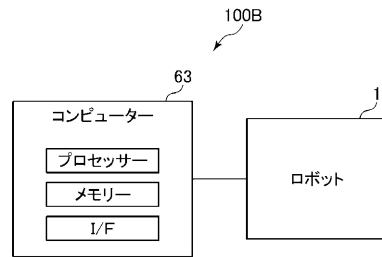
10

20

【 図 1 3 】



【 図 1 4 】

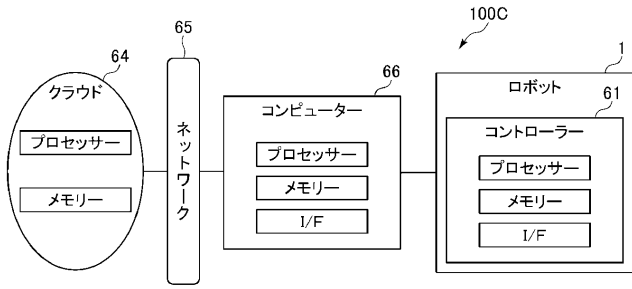


30

40

50

【 図 15 】



10

20

30

40

50