

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7378640号
(P7378640)

(45)発行日 令和5年11月13日(2023.11.13)

(24)登録日 令和5年11月2日(2023.11.2)

(51)国際特許分類

F I

G 0 5 B 19/404 (2006.01)

G 0 5 B 19/404 E

B 2 5 J 13/00 (2006.01)

B 2 5 J 13/00 Z

請求項の数 10 (全20頁)

(21)出願番号	特願2022-563069(P2022-563069)	(73)特許権者	000006013
(86)(22)出願日	令和3年3月24日(2021.3.24)		三菱電機株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/012339		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(87)国際公開番号	WO2022/201377	(74)代理人	100118762
(87)国際公開日	令和4年9月29日(2022.9.29)		弁理士 高村 順
審査請求日	令和4年10月17日(2022.10.17)	(72)発明者	斎藤 暁生
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
			三菱電機株式会社内
		審査官	白井 卓巳

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ロボット制御装置およびロボット制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

予め設定されたマニピュレータへの指令軌跡と、前記マニピュレータに関する制約条件と、前記マニピュレータの動作時間に基づく評価指標とに基づいて、前記マニピュレータの速度プロファイルを計算する速度計算部と、

前記速度プロファイルに基づいて、前記動作時間の前記指令軌跡に関する勾配を計算して勾配情報とする勾配計算部と、

前記勾配情報に基づいて前記指令軌跡を補正して補正指令軌跡とする指令軌跡補正部と、前記補正指令軌跡に対し前記マニピュレータが追従するように制御する制御部と、を備えるロボット制御装置。

10

【請求項2】

前記マニピュレータ周辺の周辺情報に基づいて、前記指令軌跡を生成する指令軌跡生成部を更に備える請求項1に記載のロボット制御装置。

【請求項3】

前記制約条件は、前記マニピュレータの関節角速度、関節角加速度、関節トルク、手先速度、手先加速度、前記マニピュレータが把持する対象で発生する力、および前記対象で発生するモーメントのうち少なくとも1つに関する条件である請求項1または2に記載のロボット制御装置。

【請求項4】

前記力および前記モーメントのうち少なくとも1つについて、機械学習を用いて前記制

20

約条件のパラメータを学習する把持制約学習部を更に備え、

前記速度計算部は、前記把持制約学習部で学習した前記パラメータに基づいて、前記速度プロファイルを計算する請求項 3 に記載のロボット制御装置。

【請求項 5】

前記制約条件は、前記マニピュレータが設置される架台に与える反力、および前記反力のトルク成分のうち少なくとも 1 つに関する条件を含む請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載のロボット制御装置。

【請求項 6】

前記反力および前記反力のトルク成分のうち少なくとも 1 つについて、機械学習を用いて前記制約条件のパラメータを学習する反力制約学習部を更に備え、

10

前記速度計算部は、前記反力制約学習部で学習した前記パラメータに基づいて、前記速度プロファイルを計算する請求項 5 に記載のロボット制御装置。

【請求項 7】

前記速度計算部は、前記指令軌跡上の補間点における位置と前記指令軌跡の媒介変数に関する一階微分および二階微分とを計算する指令補間計算部と、

前記位置と前記一階微分と前記二階微分とを用いて前記マニピュレータの運動学計算と動力学計算とを行い、運動学計算結果と動力学計算結果とを出力する動力学計算部と、

前記運動学計算結果と前記動力学計算結果と前記制約条件とに基づいて、前記制約条件の係数を計算する制約条件係数計算部と、

前記制約条件の係数に基づいて、前記速度プロファイルを計算するプロファイル計算部と、

20

を備える請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載のロボット制御装置。

【請求項 8】

前記勾配計算部は、自動微分を用いて前記動作時間を前記指令軌跡について微分することで、前記動作時間の前記指令軌跡に関する勾配を計算して前記勾配情報とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載のロボット制御装置。

【請求項 9】

前記指令軌跡補正部は、前記勾配情報に基づく勾配降下法、共役勾配法または準ニュートン法のうちいずれか 1 つを用いることで、前記指令軌跡を補正する請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載のロボット制御装置。

30

【請求項 10】

予め設定されたマニピュレータへの指令軌跡と、前記マニピュレータに関する制約条件と、前記マニピュレータの動作時間に基づく評価指標とに基づいて、前記マニピュレータの速度プロファイルを計算する工程と、

前記速度プロファイルに基づいて、前記動作時間の前記指令軌跡に関する勾配を計算して勾配情報とする工程と、

前記勾配情報に基づいて前記指令軌跡を補正して補正指令軌跡とする工程と、

前記補正指令軌跡に対し前記マニピュレータが追従するように制御する工程と、

を備えるロボット制御方法。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本開示は、マニピュレータの制御を行うロボット制御装置およびロボット制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

工場の製造ラインなどにおいて、部品および製品（以下、「ワーク」と称する）をマニピュレータで把持して搬送するピックアンドプレースの工程が存在する。ピックアンドプレースにおいて、ロボットの動作速度および加速度が適切でない場合に、ワークおよびマニピュレータの把持部に対し過剰な慣性力とモーメントとが発生し、ワークが落下すると

50

いった課題がある。これを解決するために、ワークに発生する力およびモーメントを考慮して適切な動作条件を決定する技術が提案されている。

【0003】

特許文献1には、弾性を有する保持体を含むロボットのシミュレーションモデルを用いてシミュレーションを実施し、保持体に発生する負荷モーメントが閾値よりも大きい場合に、負荷モーメントが閾値以下となるようシミュレーションの実行条件を変更するシミュレーション装置について開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2019-141939号公報

【非特許文献】

【0005】

【文献】D. Verschueren et al. "Time-Optimal Path Tracking for Robots: A Convex Optimization Approach" IEEE Trans. Automatic Control, 2009

【文献】B. Amos et al. "OptNet: Differentiable Optimization as a Layer in Neural Networks" Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning, 2017

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1では、負荷モーメントが閾値以下になるまでシミュレーションの実行条件を繰り返し変更する必要があるため、ワークに発生する力およびモーメントを考慮して適切な実行条件を求めるのに時間を要するという課題がある。また、自動的に調整可能なシミュレーションの実行条件は最大加速度のみであり、ロボットの動作軌跡と速度プロファイルといった自由度の高い動作条件を調整するのは困難なため、マニピュレータが動作開始してからワークを把持するまでの動作時間を短くできないという課題がある。

【0007】

本開示は、上述の課題を解決するためになされたもので、ワークに発生する力およびモーメントなどの制約条件を満たし、動作時間が短くなるようなマニピュレータの指令軌跡と速度プロファイルを高速に求めることができるロボット制御装置およびロボット制御方法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】

【0008】

本開示に係るロボット制御装置は、予め設定されたマニピュレータへの指令軌跡と、前記マニピュレータに関する制約条件と、前記マニピュレータの動作時間に基づく評価指標とに基づいて、前記マニピュレータの速度プロファイルを計算する速度計算部と、前記速度プロファイルに基づいて、前記動作時間の前記指令軌跡に関する勾配を計算して勾配情報とする勾配計算部と、前記勾配情報に基づいて前記指令軌跡を補正して補正指令軌跡とする指令軌跡補正部と、前記補正指令軌跡に対し前記マニピュレータが追従するよう制御する制御部と、を備える。

【0009】

また、本開示に係るロボット制御方法は、予め設定されたマニピュレータへの指令軌跡と、前記マニピュレータに関する制約条件と、前記マニピュレータの動作時間に基づく評価指標とに基づいて、前記マニピュレータの速度プロファイルを計算する工程と、前記速度プロファイルに基づいて、前記動作時間の前記指令軌跡に関する勾配を計算して勾配情報とする工程と、前記勾配情報に基づいて前記指令軌跡を補正して補正指令軌跡とする工程と、前記補正指令軌跡に対し前記マニピュレータが追従するよう制御する工程と、を備

10

20

30

40

50

える。

【発明の効果】

【0010】

本開示によれば、ロボット制御装置およびロボット制御方法は、マニピュレータに関する制約条件とマニピュレータの動作時間とに基づく評価指標に基づいて速度プロファイルを計算し、動作時間の指令軌跡に関する勾配に基づいて指令軌跡を補正するため、制約条件を満たし、動作時間が短くなるようなマニピュレータの補正指令軌跡と速度プロファイルとを高速に求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施の形態1におけるロボット制御装置の一例を示すブロック図である。

【図2】実施の形態1から4におけるロボット制御装置を含む構成の一例を示す図である。

【図3】実施の形態1から4における速度計算部の一例を示すブロック図である。

【図4】実施の形態1から4における勾配計算部の一例を示すブロック図である。

【図5】実施の形態1から4における制御部の一例を示すブロック図である。

【図6】実施の形態1におけるロボット制御装置の動作の一例を示すフローチャートである。

【図7】実施の形態2におけるロボット制御装置の一例を示すブロック図である。

【図8】実施の形態2における指令軌跡補正部の一例を示すブロック図である。

【図9】実施の形態2におけるロボット制御装置の動作の一例を示すフローチャートである。

【図10】実施の形態3におけるロボット制御装置の一例を示すブロック図である。

【図11】実施の形態3におけるロボット制御装置の動作の一例を示すフローチャートである。

【図12】実施の形態4におけるロボット制御装置の一例を示すブロック図である。

【図13】実施の形態4におけるロボット制御装置の動作の一例を示すフローチャートである。

【図14】実施の形態1から4におけるロボット制御装置のハードウェア構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

実施の形態1.

図1は、実施の形態1におけるロボット制御装置100の一例を示すブロック図である。図1は、ロボット制御装置100と、アクチュエータ110と、マニピュレータ1と、ワーク112とにより構成されるブロック図である。また、図2は、実施の形態1におけるロボット制御装置100を含む構成の一例を示す図である。ロボット制御装置100は、垂直多関節ロボットであるマニピュレータ1の各関節に設置されるアクチュエータ110を制御することで、マニピュレータ1の先端に設置される把持部111で把持対象となるワーク112のピックアップブレースの動作を実現する。周辺環境113は、例えばカメラなどであり、例えばマニピュレータ1がピックアップブレースの動作を行う際の映像を図示しない表示装置に出力する。

【0013】

ロボット制御装置100は、制約条件記憶部2と、指令軌跡記憶部3と、速度計算部4と、勾配計算部5と、指令軌跡補正部6と、指令点列計算部7と、制御部8とを備える。

【0014】

制約条件記憶部2は、マニピュレータ1に関して予め設定された制約条件のパラメータを記憶する。制約条件は、マニピュレータ1の関節角速度、関節角加速度、関節トルク、手先速度、手先加速度、マニピュレータ1が把持する対象（ワーク112）で発生する力、および把持する対象で発生するモーメントのうち少なくとも1つに関する条件である。一例として、制約条件が手先速度 v_h に関する条件の場合、制約条件とは「 $v_{min} \leq v_h$

10

20

30

40

50

v_{max} 」のことである。ここで、 v_{min} は手先速度 v_h の下限値、 v_{max} は手先速度 v_h の上限値である。そして、この場合の制約条件のパラメータとは、 v_{min} および v_{max} のことである。制約条件および制約条件のパラメータは、これに限定されない。例えば、制約条件は「 $|v_h| \leq v_{th}$ 」であり、制約条件のパラメータは v_{th} であってもよい。ここで、 $|v_h|$ は手先速度 v_h の絶対値、 v_{th} は手先速度 v_h の閾値である。

【0015】

なお、制約条件のパラメータが予め設定される場合について説明したが、ロボット制御装置100が図示しない把持制約学習部を備えてもよい。把持制約学習部は、ワーク112で発生する力およびモーメントのうち少なくとも1つについて、機械学習を用いて制約条件のパラメータを学習し、得られた制約条件のパラメータを制約条件記憶部2に記憶してもよい。具体的には、把持制約学習部は、マニピュレータ1がワーク112を把持する際に、ワーク112で発生する力およびモーメントを図示しないセンサによって取得し、取得した値に基づいて、制約条件のパラメータとして学習する。

10

【0016】

指令軌跡記憶部3は、予め設定されたマニピュレータ1への指令軌跡を記憶する。一例として、指令軌跡がスプライン曲線として与えられていた場合、指令軌跡記憶部3は、スプライン曲線上の経由点の位置とその位置における曲線の媒介変数の値（0から1の値）とのペアで記憶する。あるいは、指令軌跡記憶部3は、スプライン曲線上の経由点の位置のみを記憶してもよい。この場合、媒介変数の値は、スプライン曲線上の経由点間の距離などから計算される。また、指令軌跡はスプライン曲線以外にも、B-スプライン曲線、あるいはベジェ曲線などとして与えられてもよい。指令軌跡記憶部3は、後に説明する指令軌跡補正部6からの補正指令軌跡を記憶する。この際、予め設定された指令軌跡は破棄され、補正指令軌跡が新たに記憶される。

20

【0017】

速度計算部4は、予め設定されたマニピュレータ1への指令軌跡と、マニピュレータ1に関する制約条件と、マニピュレータ1の動作時間に基づく評価指標とに基づいて、マニピュレータ1の速度プロファイルを計算する。すなわち、速度計算部4は、指令軌跡記憶部3からの指令軌跡と、制約条件記憶部2からの制約条件のパラメータとに基づいて、制約条件の範囲内でマニピュレータ1の動作時間を短くする指令軌跡上の速度プロファイルを計算する。あるいは、ロボット制御装置100が把持制約学習部を備える場合、速度計算部4は、指令軌跡と、把持制約学習部で学習した制約条件のパラメータとに基づいて、速度プロファイルを計算する。ここで、マニピュレータ1の動作時間に基づく評価指標とは、後に説明するプロファイル計算部44が用いる評価関数のことである。この評価関数は、媒介変数を介して、マニピュレータ1の加速度および速度を変数として数式化した関数である。また、速度プロファイルとは、マニピュレータ1が指令軌跡上を動作する際の各関節の速度の時間変化を表す。速度計算部4は、評価関数で表された動作時間を最小化する最適化問題によって、速度プロファイルを計算する。

30

【0018】

図3は、実施の形態1における速度計算部4の一例を示すブロック図である。速度計算部4は、指令補間計算部41と、動力学計算部42と、制約条件係数計算部43と、プロファイル計算部44とを備える。

40

【0019】

指令補間計算部41は、予め設定された自然数Nを用いて、指令軌跡記憶部3からの指令軌跡の曲線をN点で補間し、指令軌跡上の補間点における位置と指令軌跡の媒介変数に関する一階微分および二階微分とを計算する。一例として、指令軌跡がスプライン曲線として与えられていた場合、マニピュレータ1の各軸の関節位置（あるいは関節角度）が媒介変数に関する3次の区分多項式として表現されるので、多項式の微分を用いることで、補間点の位置（あるいは角度）だけでなく、媒介変数に関する一階微分および二階微分を計算することができる。

【0020】

50

動力学計算部 4 2 は、指令補間計算部 4 1 からの補間点における位置と一階微分と二階微分とを用いて、マニピュレータ 1 の運動学計算と動力学計算とを行い、運動学計算結果と動力学計算結果とを出力する。運動学計算とは、マニピュレータ 1 の各関節の速度、加速度、角速度、および角加速度から、マニピュレータ 1 の各関節、各リンク、および把持部 1 1 1 などの速度、加速度、角速度、および角加速度を計算することである。また、動力学計算とは、マニピュレータ 1 の各関節、各リンク、および把持部 1 1 1 などの速度、加速度、角速度、および角加速度から、マニピュレータ 1 の各関節に発生するトルク、および把持部 1 1 1 に発生する力とモーメントとを計算することである。

【 0 0 2 1 】

制約条件係数計算部 4 3 は、動力学計算部 4 2 からの運動学計算結果および動力学計算結果と、制約条件記憶部 2 からの制約条件のパラメータとに基づいて、制約条件の係数を計算する。一例として、把持部 1 1 1 に発生する力に関する制約条件が、以下の数式 (1) で表される場合、制約条件の係数とは、 a 、 b および c のことである。すなわち、制約条件の係数とは、複数の変数を含む関係式において、それぞれの項に含まれる係数のことである。ここで、変数とは、数式 (1) における補間点での加速度 u および速度 x などである。

【 0 0 2 2 】

【 数 1 】

$$au + bx + c \leq 0 \quad \dots (1)$$

【 0 0 2 3 】

プロファイル計算部 4 4 は、制約条件係数計算部 4 3 からの制約条件の係数に基づいて、速度プロファイルを計算する。すなわち、プロファイル計算部 4 4 は、マニピュレータ 1 の動作時間に基づく評価関数と、制約条件の係数とに基づく最適化計算により、マニピュレータ 1 の指令軌跡上の速度プロファイルと、マニピュレータ 1 の動作時間とを計算する。

【 0 0 2 4 】

なお、制約条件係数計算部 4 3 が制約条件の係数を計算する方法、およびプロファイル計算部 4 4 が速度プロファイルを計算する方法は、非特許文献 1 に示されている。

【 0 0 2 5 】

以上のように、速度計算部 4 は、制約条件記憶部 2 で設定された制約条件の範囲内で、動作時間が短くなる速度プロファイルを計算することができる。また、ワーク 1 1 2 で発生する力およびモーメントを制約条件に加えることで、ワーク 1 1 2 のピックアップレースにおいて、ワーク 1 1 2 が落下する、あるいはワーク 1 1 2 に過剰な力が発生するなどの不具合を抑制することができる。加えて、非特許文献 1 に記載されている方法は、大域的最適解が容易に得られる凸最適化と呼ばれる方法であるため、速度プロファイルを高速に計算することができる。

【 0 0 2 6 】

図 1 に戻り、勾配計算部 5 は、速度計算部 4 からの速度プロファイルに基づいて、マニピュレータ 1 の動作時間の指令軌跡に関する勾配を計算し、勾配情報として出力する。具体的には、勾配計算部 5 は、自動微分を用いて、プロファイル計算部 4 4 からのマニピュレータ 1 の動作時間を指令軌跡について微分することで、動作時間の指令軌跡に関する勾配を計算し、勾配情報として出力する。

【 0 0 2 7 】

図 4 は、実施の形態 1 における勾配計算部 5 の一例を示すブロック図である。勾配計算部 5 は、指令補間勾配計算部 5 1 と、動力学勾配計算部 5 2 と、制約条件係数勾配計算部 5 3 と、プロファイル勾配計算部 5 4 とを備える。指令補間勾配計算部 5 1、動力学勾配計算部 5 2、制約条件係数勾配計算部 5 3、およびプロファイル勾配計算部 5 4 は、それぞれ、指令補間計算部 4 1、動力学計算部 4 2、制約条件係数計算部 4 3、およびプロフ

10

20

30

40

50

ファイル計算部 4 4 が行った計算結果の勾配を計算する。

【 0 0 2 8 】

プロファイル勾配計算部 5 4 は、一例として非特許文献 2 で示されている方法と同様の方法に基づいて、最適化問題の係数に関する勾配を計算することで、動作時間の制約条件の係数に関する勾配を計算する。

【 0 0 2 9 】

制約条件係数勾配計算部 5 3 は、プロファイル勾配計算部 5 4 からの制約条件の係数に関する勾配を入力とし、制約条件係数計算部 4 3 の計算手順の微分を連鎖律に基づいて計算することで、動作時間の運動学計算結果に関する勾配、および動作時間の動力学計算結果に関する勾配を計算する。

10

【 0 0 3 0 】

動力学勾配計算部 5 2 は、制約条件係数勾配計算部 5 3 からの動作時間の運動学計算結果に関する勾配、および動作時間の動力学計算結果に関する勾配を入力とし、動力学計算部 4 2 の計算手順の微分を連鎖律に基づいて計算することで、動作時間の指令軌跡上の補間点における位置に関する勾配、動作時間の指令軌跡の媒介変数に関する一階微分に関する勾配、および動作時間の指令軌跡の媒介変数に関する二階微分に関する勾配を計算する。

【 0 0 3 1 】

指令補間勾配計算部 5 1 は、動力学勾配計算部 5 2 からの指令軌跡上の補間点における位置に関する勾配、指令軌跡の媒介変数に関する一階微分に関する勾配、および指令軌跡の媒介変数に関する二階微分に関する勾配を入力とし、指令補間計算部 4 1 の計算手順の微分を連鎖律に基づいて計算することで、動作時間の指令軌跡に関する勾配を計算する。指令補間勾配計算部 5 1 からは、動作時間の指令軌跡に関する勾配を勾配情報として出力する。

20

【 0 0 3 2 】

図 1 に戻り、指令軌跡補正部 6 は、勾配計算部 5 からの勾配情報に基づいて、マニピュレータ 1 の動作時間が減少するように指令軌跡を補正し、補正指令軌跡として出力する。指令軌跡補正部 6 は、勾配情報に基づく勾配降下法、共役勾配法または準ニュートン法のうちいずれか 1 つを用いることで、指令軌跡を補正する。勾配降下法の一例として、最急降下法、モーメント法、または加速勾配法などがある。補正指令軌跡は、指令軌跡記憶部 3 で記憶される。

30

【 0 0 3 3 】

勾配情報に基づいて、指令軌跡補正部 6 がマニピュレータ 1 の動作時間が少なくなるよう指令軌跡を補正することで、マニピュレータ 1 の動作時間を短縮することができる。また、指令軌跡補正部 6 が勾配情報を用いるため、効率よく高速に指令軌跡を補正することができる。

【 0 0 3 4 】

指令点列計算部 7 は、指令軌跡記憶部 3 で記憶された補正指令軌跡と、速度計算部 4 からの速度プロファイルとに基づいて、所定のサンプリング周期毎の指令点列を計算する。このサンプリング周期は、後に説明する制御部 8 がアクチュエータ 1 1 0 への電流値を計算する際の周期のことである。一例として、補正指令軌跡がスプライン曲線として与えられていた場合、指令点列計算部 7 は、速度プロファイルに基づいて、時刻と補正指令軌跡の曲線の媒介変数との間の変換を行い、媒介変数を入力とした補正指令軌跡のスプライン曲線の区分多項式と組み合わせることにより、各サンプリングでマニピュレータ 1 への位置指令の点列を計算する。

40

【 0 0 3 5 】

制御部 8 は、補正指令軌跡に対しマニピュレータ 1 が追従するよう制御する。すなわち、制御部 8 は、指令点列計算部 7 からの指令点列に対し、マニピュレータ 1 が追従するよう制御する。

【 0 0 3 6 】

図 5 は、実施の形態 1 における制御部 8 の一例を示すブロック図である。制御部 8 は、

50

フィードフォワード制御部 8 1 と、フィードバック制御部 8 2 と、電流値計算部 8 3 とを備える。

【 0 0 3 7 】

フィードフォワード制御部 8 1 は、指令点列計算部 7 からの指令点列に対し、例えば平滑化などのフィルタ処理を行い、平滑化後の指令点列として出力する。フィードフォワード制御部 8 1 は、指令点列計算部 7 からの指令点列に対し、モデル化された逆伝達関数を適用することで、アクチュエータ 1 1 0 に入力する電流のフィードフォワード値を計算して出力する。逆伝達関数とは、制御対象であるアクチュエータ 1 1 0 の伝達関数に対する逆関数である。センサによってアクチュエータ 1 1 0 で発生する外乱を検知できる場合、フィードフォワード制御部 8 1 は外乱信号に対し、モデル化された逆伝達関数を適用してもよい。この場合、フィードフォワード制御部 8 1 は、外乱信号に対し逆伝達関数を適用したものを上記の電流のフィードフォワード値に含めて出力する。外乱の一例として、作業者がマニピュレータ 1 に接触することによる振動が挙げられる。

10

【 0 0 3 8 】

フィードバック制御部 8 2 は、フィードフォワード制御部 8 1 からの平滑化後の指令点列にアクチュエータ 1 1 0 が追従するようフィードバック制御を行い、アクチュエータ 1 1 0 に入力する電流のフィードバック値を計算して出力する。

【 0 0 3 9 】

電流値計算部 8 3 は、フィードフォワード制御部 8 1 からの電流のフィードフォワード値と、フィードバック制御部 8 2 からの電流のフィードバック値とに基づいて、アクチュエータ 1 1 0 へ入力する電流値を計算する。

20

【 0 0 4 0 】

図 6 は、実施の形態 1 におけるロボット制御装置 1 0 0 の動作の一例を示すフローチャートである。すなわち、図 6 は、実施の形態 1 におけるロボット制御方法の一例を示すフローチャートである。

【 0 0 4 1 】

図 6 に示すように、図示しない手段によりロボット制御が開始されると、速度計算部 4 は、予め設定されたマニピュレータ 1 への指令軌跡と、マニピュレータ 1 に関する制約条件と、マニピュレータ 1 の動作時間に基づく評価指標とに基づいて、マニピュレータ 1 の速度プロファイルを計算する（ステップ S T 1 ）。

30

【 0 0 4 2 】

勾配計算部 5 は、マニピュレータ 1 の動作時間の指令軌跡に関する勾配を計算して勾配情報として出力する（ステップ S T 2 ）。

【 0 0 4 3 】

指令軌跡補正部 6 は、勾配情報に基づいて指令軌跡を補正して補正指令軌跡として出力する（ステップ S T 3 ）。

【 0 0 4 4 】

指令軌跡記憶部 3 は、補正指令軌跡を記憶する（ステップ S T 4 ）。

【 0 0 4 5 】

指令点列計算部 7 は、補正指令軌跡と速度プロファイルとに基づいて、指令点列を計算する（ステップ S T 5 ）。

40

【 0 0 4 6 】

制御部 8 は、補正指令軌跡に対しマニピュレータ 1 が追従するようアクチュエータ 1 1 0 を制御する（ステップ S T 6 ）。

【 0 0 4 7 】

図示しない手段により、ロボットの制御を継続するか否かが判定される（ステップ S T 7 ）。

【 0 0 4 8 】

ステップ S T 7 の判定が「 Y e s 」の場合は、処理はステップ S T 6 に戻り、ロボットの制御が継続される。ステップ S T 7 の判定が「 N o 」の場合は、ロボットの制御が終了

50

する。ロボットの制御が終了するのは、例えばマニピュレータ 1 が補正指令軌跡の終点にたどり着いた場合である。あるいは、マニピュレータ 1 が異常動作したと判定された場合である。この判定は、図示しない手段により行われる。

【0049】

以上で説明した実施の形態 1 によれば、マニピュレータ 1 に関する制約条件とマニピュレータ 1 の動作時間とに基づく評価指標に基づいて速度プロファイルを計算し、動作時間の指令軌跡に関する勾配に基づいて指令軌跡を補正するため、制約条件を満たし、動作時間が短くなるようなマニピュレータ 1 の補正指令軌跡と速度プロファイルとを高速に求めることができる。

【0050】

実施の形態 2 .

実施の形態 2 では、周辺環境 113 で予め取得されるマニピュレータ 1 周辺の周辺情報に基づいて、指令軌跡を生成する。

【0051】

図 7 は、実施の形態 2 におけるロボット制御装置 100a の一例を示すブロック図である。図 7 は、ロボット制御装置 100a がロボット制御装置 100 の構成要素に加え、周辺環境情報記憶部 9 と、指令軌跡生成部 10 と、速度プロファイル記憶部 11 とを備える点で、図 1 とは異なる。また、図 7 は、指令軌跡補正部 6 の代わりに指令軌跡補正部 6a を備える点で、図 1 とは異なる。周辺環境情報記憶部 9、指令軌跡生成部 10、速度プロファイル記憶部 11 および指令軌跡補正部 6a 以外は、図 1 に示すものと同じであるため、説明を省略する。

【0052】

周辺環境情報記憶部 9 は、マニピュレータ 1 周辺の周辺情報を記憶する。具体的には、周辺環境情報記憶部 9 は、周辺環境 113 によって取得されたマニピュレータ 1 周辺の障害物の位置および形状などの情報を周辺情報として記憶する。周辺情報を記憶するためのデータ構造としては、例えば点群、ボクセル、ポリゴンメッシュ、および直方体などの基本形状でもよいし、複数の基本形状を組み合わせたものでもよい。また、データ構造として、後に説明する距離関数計算部 61 が行う距離計算などの高速化が図れるバウンディングボリューム階層であってもよい。

【0053】

指令軌跡生成部 10 は、周辺環境情報記憶部 9 で記憶された周辺情報に基づいて、指令軌跡を生成する。具体的には、指令軌跡生成部 10 は、周辺情報に基づいて、マニピュレータ 1 が周辺の障害物と干渉しないような指令軌跡を生成し、指令軌跡記憶部 3 で記憶されている指令軌跡の更新を行う。指令軌跡を生成するアルゴリズムとして、例えば RRT (Rapidly-exploring Random Tree) および PRM (Probabilistic Road Map) などを用いてもよい。

【0054】

指令軌跡生成部 10 で生成される指令軌跡は、予め設定された初期軌道ではなく、マニピュレータ 1 周辺の障害物との干渉を避けるような指令軌跡であり、自律的に生成されるものである。このため、指令軌跡生成部 10 は、例えば指令軌跡の始点と終点とを入力するだけで、指令軌跡を自動的に生成することができる。

【0055】

指令軌跡補正部 6a は、指令軌跡記憶部 3 で記憶された指令軌跡と、周辺環境情報記憶部 9 で記憶された周辺情報と、勾配計算部 5 からの勾配情報とに基づいて、指令軌跡を補正し、補正指令軌跡として出力する。補正指令軌跡は、指令軌跡記憶部 3 で記憶される。

【0056】

図 8 は、実施の形態 2 における指令軌跡補正部 6a の一例を示すブロック図である。指令軌跡補正部 6a は、距離関数計算部 61 と、バリア関数計算部 62 と、バリア関数勾配計算部 63 と、指令軌跡補正值計算部 64 とを備える。

【0057】

10

20

30

40

50

距離関数計算部 6 1 は、指令軌跡記憶部 3 で記憶された指令軌跡と、周辺環境情報記憶部 9 で記憶された周辺情報とに基づいて、指令軌跡と周辺の障害物との距離関数の値を計算する。

【 0 0 5 8 】

バリア関数計算部 6 2 は、距離関数の値がある値以下になると関数の値が発散するようなバリア関数を構成し、距離関数計算部 6 1 からの距離関数の値に基づいて、バリア関数の値を計算する。

【 0 0 5 9 】

バリア関数勾配計算部 6 3 は、バリア関数計算部 6 2 からのバリア関数の値の指令軌跡に関する勾配を計算する。バリア関数勾配計算部 6 3 は、例えば自動微分を用いて勾配を計算する。

10

【 0 0 6 0 】

指令軌跡補正值計算部 6 4 は、勾配計算部 5 からのマニピュレータ 1 の動作時間の指令軌跡に関する勾配と、バリア関数勾配計算部 6 3 からのバリア関数の値の指令軌跡に関する勾配とを合わせて勾配情報とし、この勾配情報に基づいて、動作時間とバリア関数の値との和が小さくなるように、指令軌跡の補正值を計算する。

【 0 0 6 1 】

図 7 に戻り、速度プロファイル記憶部 1 1 は、速度計算部 4 からの速度プロファイルを記憶する。ロボット制御装置 1 0 0 a が速度プロファイル記憶部 1 1 を備えることにより、速度計算部 4 が速度プロファイルを計算するタイミングを任意に設定することができる。すなわち、制御部 8 がアクチュエータ 1 1 0 を制御する直前だけでなく、例えばマニピュレータ 1 が動作していない間、あるいはマニピュレータ 1 が他の動作を行っている間などに速度プロファイルを計算することができる。

20

【 0 0 6 2 】

指令点列計算部 7 は、指令軌跡記憶部 3 で記憶された補正指令軌跡と、速度プロファイル記憶部 1 1 で記憶された速度プロファイルとに基づいて、所定のサンプリング周期毎の指令点列を計算する。

【 0 0 6 3 】

図 9 は、実施の形態 2 におけるロボット制御装置 1 0 0 a の動作の一例を示すフローチャートである。すなわち、図 9 は、実施の形態 2 におけるロボット制御方法の一例を示すフローチャートである。図 9 のステップ S T 1 からステップ S T 7 は、図 6 のステップ S T 1 からステップ S T 7 と同じであるため、ここでは詳細説明を省略する。

30

【 0 0 6 4 】

図 9 に示すように、図示しない手段によりロボット制御が開始されると、指令軌跡生成部 1 0 は、周辺環境情報記憶部 9 で記憶された周辺情報に基づいて、指令軌跡を生成する。(ステップ S T 8)。

【 0 0 6 5 】

速度計算部 4 は、マニピュレータ 1 への指令軌跡と、マニピュレータ 1 に関する制約条件と、マニピュレータ 1 の動作時間に基づく評価指標とに基づいて、マニピュレータ 1 の速度プロファイルを計算する(ステップ S T 1)。

40

【 0 0 6 6 】

速度プロファイル記憶部 1 1 は、速度プロファイルを記憶する(ステップ S T 9)。

【 0 0 6 7 】

勾配計算部 5 は、マニピュレータ 1 の動作時間の指令軌跡に関する勾配を計算して勾配情報として出力する(ステップ S T 2)。

【 0 0 6 8 】

指令軌跡補正部 6 a は、バリア関数の値の指令軌跡に関する勾配を計算し、ステップ S T 2 により計算された勾配と合わせたものを勾配情報として出力する(ステップ S T 1 0)。

【 0 0 6 9 】

50

指令軌跡補正部 6 a は、勾配情報に基づいて指令軌跡を補正して補正指令軌跡として出力する（ステップ S T 3 ）。

【 0 0 7 0 】

指令軌跡記憶部 3 は、補正指令軌跡を記憶する（ステップ S T 4 ）。

【 0 0 7 1 】

指令点列計算部 7 は、補正指令軌跡と速度プロファイルとに基づいて、指令点列を計算する（ステップ S T 5 ）。

【 0 0 7 2 】

制御部 8 は、補正指令軌跡に対しマニピュレータ 1 が追従するようアクチュエータ 1 1 0 を制御する（ステップ S T 6 ）。

【 0 0 7 3 】

図示しない手段により、ロボットの制御を継続するか否かが判定される（ステップ S T 7 ）。

【 0 0 7 4 】

ステップ S T 7 の判定が「 Y e s 」の場合は、処理はステップ S T 6 に戻り、ロボットの制御が継続される。ステップ S T 7 の判定が「 N o 」の場合は、ロボットの制御が終了する。

【 0 0 7 5 】

以上で説明した実施の形態 2 によれば、指令軌跡生成部 1 0 が周辺環境 1 1 3 からの周辺情報に基づいて指令軌跡を生成するため、障害物との干渉を避けつつ動作時間が短くなるようなマニピュレータ 1 の補正指令軌跡と速度プロファイルとを高速に求めることができる。

【 0 0 7 6 】

実施の形態 3 .

実施の形態 3 では、タブレットなどの入出力装置 1 2 を用いて、マニピュレータ 1 の制御を行う。

【 0 0 7 7 】

図 1 0 は、実施の形態 3 におけるロボット制御装置 1 0 0 b の一例を示すブロック図である。図 1 0 は、ロボット制御装置 1 0 0 b が入出力装置 1 2 と図示しない手段により接続されている点で、図 1 とは異なる。なお、ロボット制御装置 1 0 0 b は、実施の形態 1 におけるロボット制御装置 1 0 0 と同じ構成であるため、説明を省略する。なお、ロボット制御装置 1 0 0 b は、実施の形態 2 におけるロボット制御装置 1 0 0 a と同じ構成であってもよい。

【 0 0 7 8 】

入出力装置 1 2 は、マニピュレータ 1 の動作情報と周辺環境 1 1 3 から取得される周辺情報とを画面に表示する。動作情報は、例えばマニピュレータ 1 が動作している映像のことである。入出力装置 1 2 は、作業者が入力した動作情報をロボット制御装置 1 0 0 b に出力する。例えば、入出力装置 1 2 は、画面上のタッチパネルあるいは音声インターフェースを通じて、作業者にマニピュレータ 1 の動作の始点と終点とを入力させてもよいし、作業者がタブレットの画面を指でトレースすることで、マニピュレータ 1 の把持部 1 1 1 の大まかな指令軌跡を入力させてもよい。この指令軌跡は、指令軌跡記憶部 3 で記憶される。なお、作業者は、マニピュレータ 1 が動作中に入出力装置 1 2 を用いて停止させることもできる。この場合、入出力装置 1 2 は、画面上に「動作停止」の表示をさせ、作業者にその表示をタッチさせることで、作業停止の命令をロボット制御装置 1 0 0 b へ送信する。これにより、ロボット制御装置 1 0 0 b は、マニピュレータ 1 の動作を停止させる。

【 0 0 7 9 】

図 1 1 は、実施の形態 3 におけるロボット制御装置 1 0 0 b の動作の一例を示すフローチャートである。すなわち、図 1 1 は、実施の形態 3 におけるロボット制御方法の一例を示すフローチャートである。図 1 1 のステップ S T 1 からステップ S T 6 は、図 6 のステップ S T 1 からステップ S T 6 と同じであるため、ここでは詳細説明を省略する。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 0 】

図 1 1 に示すように、図示しない手段によりロボット制御が開始されると、速度計算部 4 は、予め設定されたマニピュレータ 1 への指令軌跡と、マニピュレータ 1 に関する制約条件と、マニピュレータ 1 の動作時間に基づく評価指標とに基づいて、マニピュレータ 1 の速度プロファイルを計算する（ステップ S T 1 ）。

【 0 0 8 1 】

勾配計算部 5 は、マニピュレータ 1 の動作時間の指令軌跡に関する勾配を計算して勾配情報として出力する（ステップ S T 2 ）。

【 0 0 8 2 】

指令軌跡補正部 6 は、勾配情報に基づいて指令軌跡を補正して補正指令軌跡として出力する（ステップ S T 3 ）。

【 0 0 8 3 】

指令軌跡記憶部 3 は、補正指令軌跡を記憶する（ステップ S T 4 ）。

【 0 0 8 4 】

指令点列計算部 7 は、補正指令軌跡と速度プロファイルとに基づいて、指令点列を計算する（ステップ S T 5 ）。

【 0 0 8 5 】

制御部 8 は、補正指令軌跡に対しマニピュレータ 1 が追従しようアクチュエータ 1 1 0 を制御する（ステップ S T 6 ）。

【 0 0 8 6 】

図示しない手段により、ロボットの制御を継続するか否かが判定される（ステップ S T 1 1 ）。

【 0 0 8 7 】

ステップ S T 1 1 の判定が「 Y e s 」の場合は、処理はステップ S T 6 に戻り、マニピュレータ 1 の制御が継続される。ステップ S T 1 1 の判定が「 N o 」の場合は、ロボットの制御が終了する。ロボットの制御が終了するのは、例えばマニピュレータ 1 が補正指令軌跡の終点にたどり着いた場合である。あるいは、マニピュレータ 1 が異常動作したと判定された場合である。あるいは、入出力装置 1 2 から「動作停止」の命令がロボット制御装置 1 0 0 b へ送信された場合である。この判定は、図示しない手段により行われる。

【 0 0 8 8 】

以上で説明した実施の形態 3 によれば、入出力装置 1 2 を用いてマニピュレータ 1 の制御を行うことで、マニピュレータ 1 の動作を可視化することができる。

【 0 0 8 9 】

実施の形態 4 .

実施の形態 4 では、マニピュレータ 1 が移動架台 1 3 の上に設置された状態で、マニピュレータ 1 の制御を行う。

【 0 0 9 0 】

図 1 2 は、実施の形態 4 におけるロボット制御装置 1 0 0 c の一例を示すブロック図である。図 1 2 は、マニピュレータ 1 が移動架台 1 3 の上に設置される点で、図 1 とは異なる。また、図 1 2 は、ロボット制御装置 1 0 0 c が制約条件記憶部 2 の代わりに制約条件記憶部 2 c を備える点、速度計算部 4 の代わりに速度計算部 4 c を備える点、および勾配計算部 5 の代わりに勾配計算部 5 c を備える点で、図 1 とは異なる。制約条件記憶部 2 c 、速度計算部 4 c および勾配計算部 5 c 以外は、図 1 に示すものと同じであるため、説明を省略する。なお、ロボット制御装置 1 0 0 c は、実施の形態 1 におけるロボット制御装置 1 0 0 をベースとしているが、実施の形態 2 におけるロボット制御装置 1 0 0 a あるいは実施の形態 3 におけるロボット制御装置 1 0 0 b をベースとしてもよい。

【 0 0 9 1 】

制約条件記憶部 2 c は、マニピュレータ 1 に関して予め設定された制約条件のパラメータを記憶する。制約条件は、マニピュレータ 1 の関節角速度、関節角加速度、関節トルク、手先速度、手先加速度、前記マニピュレータ 1 が把持する対象で発生する力、および前

10

20

30

40

50

記対象で発生するモーメントに加え、マニピュレータ 1 が設置される移動架台 1 3 に与える反力、および反力のトルク成分のうち少なくとも 1 つに関する条件を含む。

【0092】

なお、制約条件のパラメータが予め設定される場合について説明したが、ロボット制御装置 100c が図示しない反力制約学習部を備えてもよい。反力制約学習部は、マニピュレータ 1 が設置される移動架台 1 3 に与える反力および反力のトルク成分のうち少なくとも 1 つについて、機械学習を用いて制約条件のパラメータを学習し、得られた制約条件のパラメータを制約条件記憶部 2 c に記憶してもよい。具体的には、反力制約学習部は、マニピュレータ 1 の動作中に、移動架台 1 3 に与える反力および反力のトルク成分を図示しないセンサによって取得し、取得した値に基づいて、制約条件のパラメータとして学習する。

10

【0093】

速度計算部 4 c は、指令軌跡記憶部 3 からの指令軌跡と、制約条件記憶部 2 c からの制約条件のパラメータとに基づいて、制約条件の範囲内でマニピュレータ 1 の動作時間を短くする指令軌跡上の速度プロファイルを計算する。

【0094】

速度計算部 4 c の構成は、図 3 に示す速度計算部 4 の構成と同じであるが、動力学計算部 4 2 の動力学計算に、マニピュレータ 1 の動作時に移動架台 1 3 に与える反力および反力のトルク成分の計算を含める点、および制約条件係数計算部 4 3 が反力および反力のトルク成分に関する制約条件も含めて制約条件の係数を計算する点が、速度計算部 4 とは異なる。なお、ロボット制御装置 100c が反力制約学習部を備える場合、速度計算部 4 c は、指令軌跡と、反力制約学習部で学習した制約条件のパラメータとに基づいて、速度プロファイルを計算する。

20

【0095】

勾配計算部 5 c は、マニピュレータ 1 の動作時間の指令軌跡に関する勾配を計算し、勾配情報として出力する。

【0096】

勾配計算部 5 c の構成は、図 4 に示す勾配計算部 5 の構成と同じであるが、制約条件係数勾配計算部 5 3 が、マニピュレータ 1 の動作時に移動架台 1 3 に与える反力および反力のトルク成分も考慮して、動作時間の運動学計算結果に関する勾配、および動作時間の動力学計算結果に関する勾配を計算する点が、勾配計算部 5 とは異なる。また、プロファイル勾配計算部 5 4 が、マニピュレータ 1 の動作時に移動架台 1 3 に与える反力および反力のトルク成分も考慮して勾配を計算する点が、勾配計算部 5 とは異なる。

30

【0097】

以上のように、ロボット制御装置 100c が制約条件記憶部 2 c、速度計算部 4 c および勾配計算部 5 c を備えることで、移動架台 1 3 への反力に起因する振動を抑制することができ、マニピュレータ 1 の動作時間を短くすることができる。

【0098】

図 1 3 は、実施の形態 4 におけるロボット制御装置 100c の動作の一例を示すフローチャートである。すなわち、図 1 3 は、実施の形態 4 におけるロボット制御方法の一例を示すフローチャートである。図 1 3 のステップ S T 1 からステップ S T 7 は、図 6 のステップ S T 1 からステップ S T 7 と同じであるため、ここでは詳細説明を省略する。

40

【0099】

図 1 3 に示すように、図示しない手段によりロボット制御が開始されると、速度計算部 4 c は、予め設定されたマニピュレータ 1 への指令軌跡と、マニピュレータ 1 に関する制約条件と、マニピュレータ 1 の動作時間に基づく評価指標とに基づいて、マニピュレータ 1 の速度プロファイルを計算する（ステップ S T 1）。速度計算部 4 c 内の動力学計算部 4 2 は、マニピュレータ 1 の動作時に移動架台 1 3 に与える反力および反力のトルク成分の計算を含めて運動学計算と動力学計算とを行う。また、速度計算部 4 c 内の制約条件係数計算部 4 3 は、移動架台 1 3 に与える反力および反力のトルク成分に関する制約条件も

50

含めて、制約条件の係数を計算する。

【 0 1 0 0 】

勾配計算部 5 c は、マニピュレータ 1 の動作時間の指令軌跡に関する勾配を計算して勾配情報として出力する（ステップ S T 2 ）。勾配計算部 5 c 内の制約条件係数勾配計算部 5 3 は、マニピュレータ 1 の動作時に移動架台 1 3 に与える反力および反力のトルク成分も考慮して、動作時間の運動学計算結果に関する勾配、および動作時間の動力学計算結果に関する勾配を計算する。また、勾配計算部 5 c 内のプロファイル勾配計算部 5 4 は、移動架台 1 3 に与える反力および反力のトルク成分も考慮して、動作時間の制約条件の係数に関する勾配を計算する。

【 0 1 0 1 】

指令軌跡補正部 6 は、勾配情報に基づいて指令軌跡を補正して補正指令軌跡として出力する（ステップ S T 3 ）。10

【 0 1 0 2 】

指令軌跡記憶部 3 は、補正指令軌跡を記憶する（ステップ S T 4 ）。10

【 0 1 0 3 】

指令点列計算部 7 は、補正指令軌跡と速度プロファイルとに基づいて、指令点列を計算する（ステップ S T 5 ）。10

【 0 1 0 4 】

制御部 8 は、補正指令軌跡に対しマニピュレータ 1 が追従するようアクチュエータ 1 1 0 を制御する（ステップ S T 6 ）。20

【 0 1 0 5 】

図示しない手段により、ロボットの制御を継続するか否かが判定される（ステップ S T 1 1 ）。20

【 0 1 0 6 】

ステップ S T 1 1 の判定が「 Y e s 」の場合は、処理はステップ S T 6 に戻り、マニピュレータ 1 の制御が継続される。ステップ S T 1 1 の判定が「 N o 」の場合は、ロボットの制御が終了する。

【 0 1 0 7 】

以上で説明した実施の形態 4 によれば、マニピュレータ 1 の動作中に移動架台 1 3 に与える反力および反力のトルク成分を考慮することで、移動架台 1 3 の振動を抑制することができ、マニピュレータ 1 の動作時間を短くすることができる。30

【 0 1 0 8 】

なお、実施の形態 4 において、ロボット制御装置 1 0 0 c が行うマニピュレータ 1 の制御は、移動架台 1 3 に対しても適用できる。また、マニピュレータ 1 が移動架台 1 3 に設置される場合に限定されず、マニピュレータ 1 が図示しない固定架台に設置される場合にも適用できる。

【 0 1 0 9 】

実施の形態 1 から 4 におけるロボット制御装置 1 0 0 , 1 0 0 a , 1 0 0 b および 1 0 0 c およびロボット制御方法は、垂直多関節ロボットであるマニピュレータ 1 以外にも適用できる。例えば、水平多関節ロボットなどの任意の軸構成のマニピュレータ 1 にも適用できる。また、マニピュレータ 1 以外の産業装置にも適用できる。40

【 0 1 1 0 】

ここで、実施の形態 1 から 4 におけるロボット制御装置 1 0 0 , 1 0 0 a , 1 0 0 b および 1 0 0 c のハードウェア構成について説明する。ロボット制御装置 1 0 0 , 1 0 0 a , 1 0 0 b および 1 0 0 c の各機能は、処理回路によって実現し得る。処理回路は、少なくとも 1 つのプロセッサと少なくとも 1 つのメモリとを備える。

【 0 1 1 1 】

図 1 4 は、実施の形態 1 から 4 におけるロボット制御装置 1 0 0 , 1 0 0 a , 1 0 0 b および 1 0 0 c のハードウェア構成を示す図である。ロボット制御装置 1 0 0 , 1 0 0 a , 1 0 0 b および 1 0 0 c は、図 1 4 (a) に示すプロセッサ 2 0 0 およびメモリ 2 0 1 50

によって実現することができる。プロセッサ 200 は、例えば CPU (Central Processing Unit、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、プロセッサ、DSP (Digital Signal Processor) ともいう) またはシステム LSI (Large Scale Integration) である。

【0112】

メモリ 201 は、例えば RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)、EEPROM (登録商標) (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) などの不揮発性または揮発性の半導体メモリ、HDD (Hard Disk Drive)、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、または DVD (Digital Versatile Disk) などである。

10

【0113】

ロボット制御装置 100、100a、100b および 100c の各部の機能は、ソフトウェアなど (ソフトウェア、ファームウェア、またはソフトウェアとファームウェア) により実現される。ソフトウェアなどはプログラムとして記述され、メモリ 201 に格納される。プロセッサ 200 は、メモリ 201 で記憶されているプログラムを読み出して実行することにより、各部の機能を実現する。すなわち、このプログラムは、ロボット制御装置 100、100a、100b および 100c の手順または方法をコンピュータに実行させるものであると言える。

20

【0114】

プロセッサ 200 が実行するプログラムは、インストール可能な形式または実行可能な形式のファイルで、コンピュータが読み取り可能な記憶媒体に記憶されてコンピュータプログラムプロダクトとして提供されてもよい。また、プロセッサ 200 が実行するプログラムは、インターネットなどのネットワーク経由でロボット制御装置 100、100a、100b および 100c に提供されてもよい。

【0115】

また、ロボット制御装置 100、100a、100b および 100c は、図 14 (b) に示す専用の処理回路 202 によって実現してもよい。処理回路 202 が専用のハードウェアである場合、処理回路 202 は、例えば単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field-Programmable Gate Array)、またはこれらを組み合わせたものなどが該当する。

30

【0116】

以上、ロボット制御装置 100、100a、100b および 100c の各構成要素の機能が、ソフトウェアなど、またはハードウェアのいずれか一方で実現される構成について説明した。しかしこれに限ったものではなく、ロボット制御装置 100、100a、100b および 100c の一部の構成要素をソフトウェアなどで実現し、別の一部を専用のハードウェアで実現する構成であってもよい。

40

【符号の説明】

【0117】

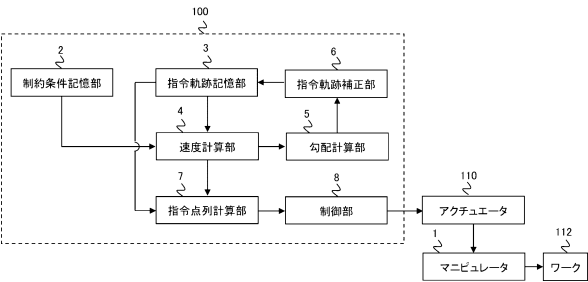
1 マニピュレータ、2、2c 制約条件記憶部、3 指令軌跡記憶部、4、4c 速度計算部、41 指令補間計算部、42 動力学計算部、43 制約条件係数計算部、44 プロファイル計算部、5、5c 勾配計算部、51 指令補間勾配計算部、52 動力学勾配計算部、53 制約条件係数勾配計算部、54 プロファイル勾配計算部、6、6a 指令軌跡補正部、61 距離関数計算部、62 バリア関数計算部、63 バリア関数勾配計算部、64 指令軌跡補正值計算部、7 指令点列計算部、8

50

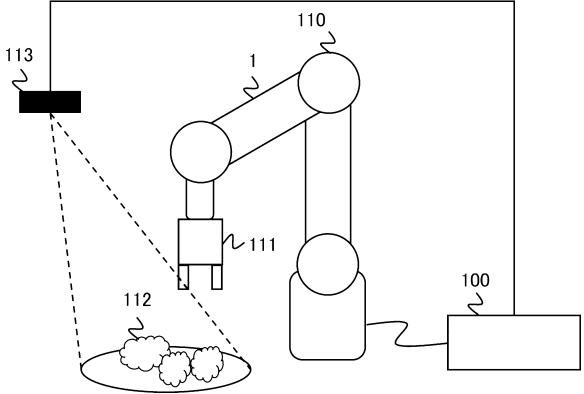
制御部、 8 1 フィードフォワード制御部、 8 2 フィードバック制御部、 8 3 電流値計算部、 9 周辺環境情報記憶部、 1 0 指令軌跡生成部、 1 1 0 アクチュエータ、 1 1 1 把持部、 1 1 2 ワーク、 1 1 3 周辺環境、 1 3 移動架台、 2 0 0 プロセッサ、 2 0 1 メモリ、 2 0 2 処理回路。

【図面】

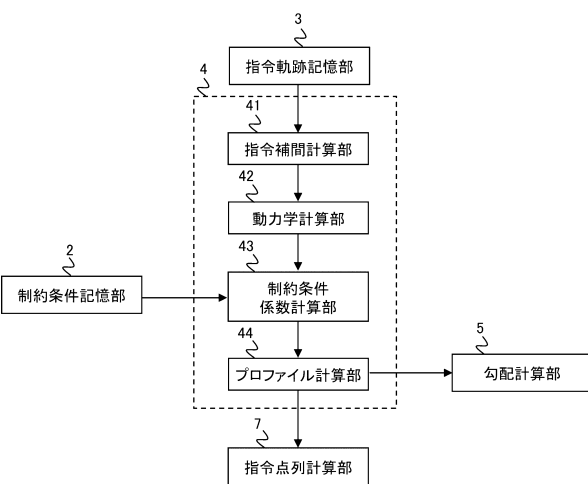
【図 1】



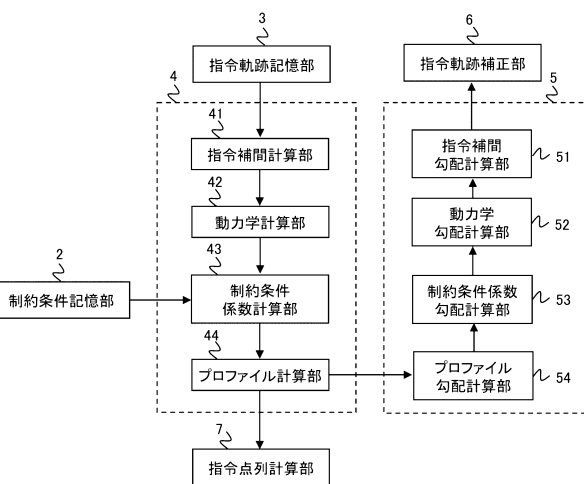
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

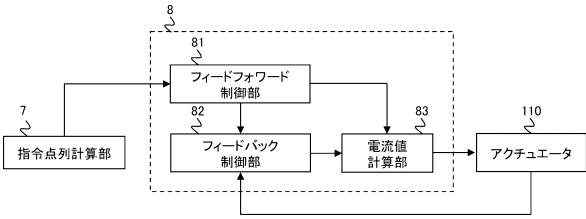
20

30

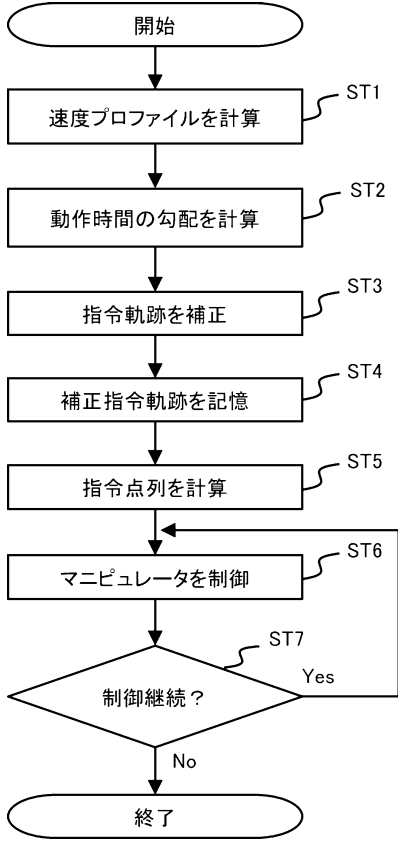
40

50

【図 5】



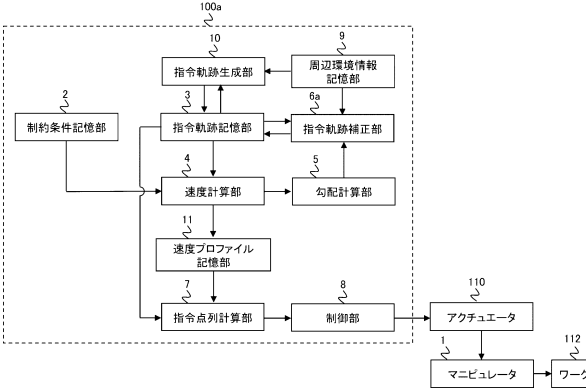
【図 6】



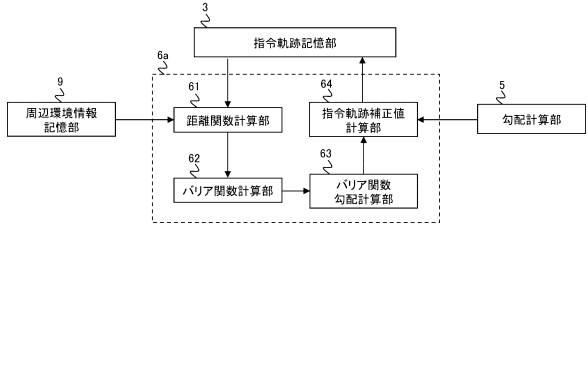
10

20

【図 7】



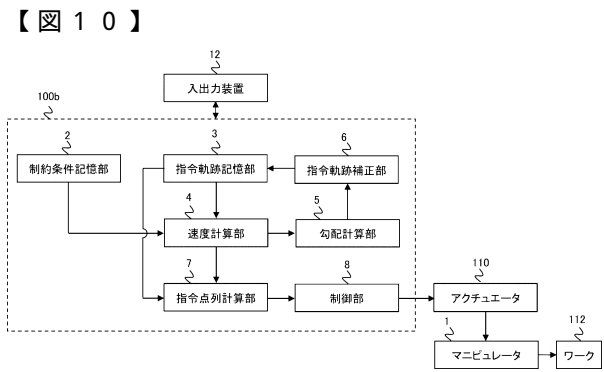
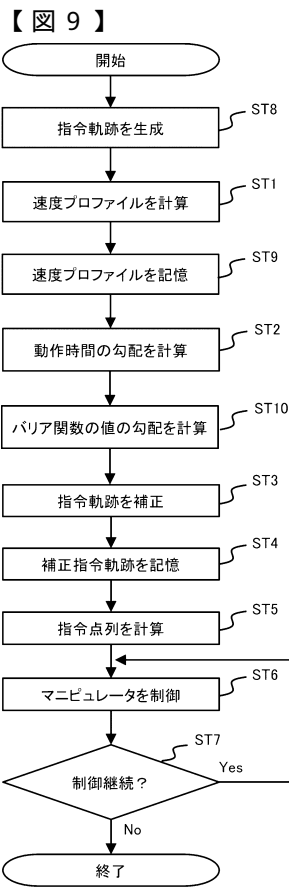
【図 8】



30

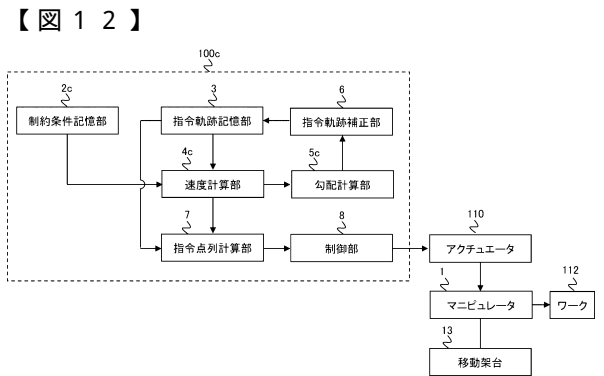
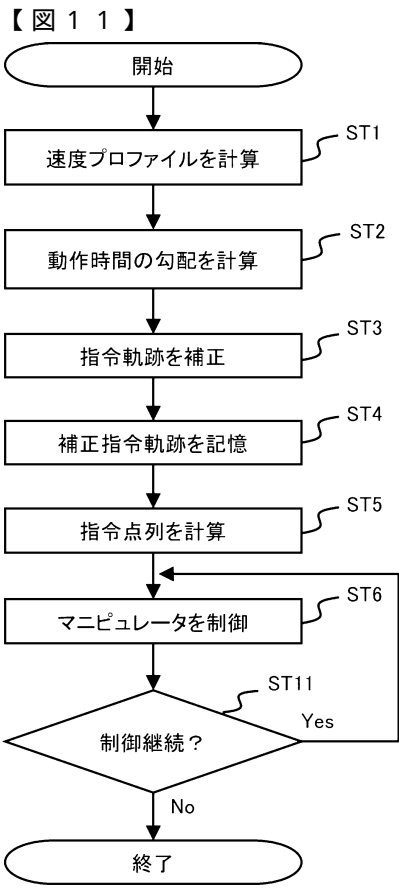
40

50



10

20

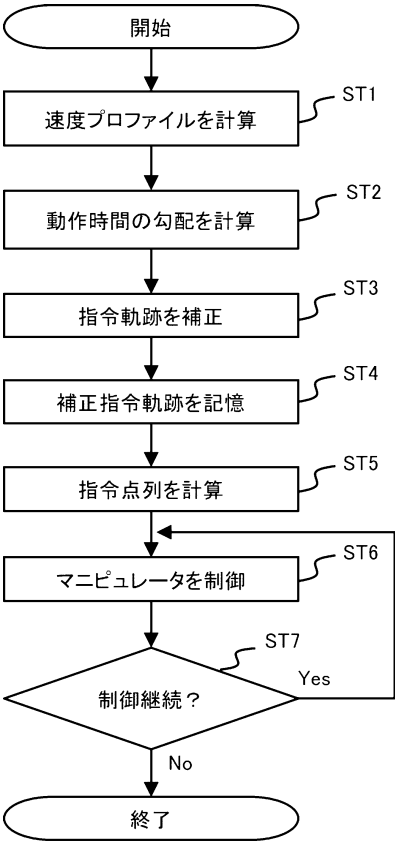


30

40

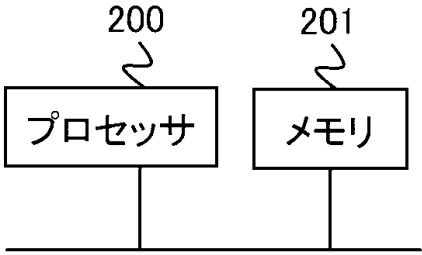
50

【図 1 3】



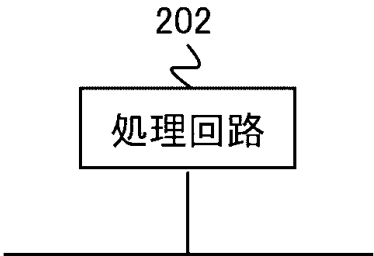
【図 1 4】

(a)



10

(b)



20

30

40

50

フロントページの続き

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