

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5383911号
(P5383911)

(45) 発行日 平成26年1月8日(2014.1.8)

(24) 登録日 平成25年10月11日(2013.10.11)

(51) Int.Cl.		F I			
B 2 5 J	13/08	(2006.01)	B 2 5 J	13/08	Z
B 2 5 J	9/22	(2006.01)	B 2 5 J	9/22	A

請求項の数 4 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2012-521201 (P2012-521201)	(73) 特許権者	000003078
(86) (22) 出願日	平成22年6月22日 (2010.6.22)		株式会社東芝
(86) 国際出願番号	PCT/JP2010/060543		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(87) 国際公開番号	W02011/161765	(74) 代理人	100117787
(87) 国際公開日	平成23年12月29日 (2011.12.29)		弁理士 勝沼 宏仁
審査請求日	平成24年4月10日 (2012.4.10)	(74) 代理人	100082991
			弁理士 佐藤 泰和
		(74) 代理人	100103263
			弁理士 川崎 康
		(74) 代理人	100107582
			弁理士 関根 毅
		(74) 代理人	100118843
			弁理士 赤岡 明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボット制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

関節軸及び前記関節軸に駆動力を伝達する駆動軸を有するロボットを制御するロボット制御装置であって、

前記関節軸を制御周期毎に駆動するアクチュエータと、

前記駆動軸の角度を検出する駆動軸角度検出部と、

前記駆動軸の角度から前記関節軸の角度を算出する関節軸角度算出部と、

前記関節軸の角度から前記ロボットの先端位置を算出する先端位置算出部と、

前記先端位置の位置指令値と、前記先端位置との位置誤差を算出する位置誤差算出部と

、
前記関節軸の角度に基づいて前記先端位置での作業座標系と関節座標系との間のヤコビ行列を算出するヤコビ行列算出部と、

関節角差分を算出する関節角差分算出部と、

前記関節角差分に基づいて関節のトルク指令値を算出するトルク指令値算出部と、

前記トルク指令値に基づいて前記アクチュエータを駆動する駆動部と、

前記関節軸の角度から前記関節軸を駆動するのに必要な駆動トルクを推定する駆動トルク推定部と、

推定された前記駆動トルクと前記トルク指令値との差を外部トルクとして算出する外部トルク算出部と、

前記外部トルクと前記ヤコビ行列から前記外部トルクの要素が0とならない前記外部ト

ルクの部分ベクトルを求めるとともに前記部分ベクトルに関連し外力が作用している外力作用関節軸に関する部分ヤコビ行列を求め、この部分ヤコビ行列と前記部分ベクトルとから前記外力作用関節軸に作用する外力を算出する外力算出部と、

前記外力作用関節軸におけるコンプライアンスモデルを記憶するコンプライアンスモデル記憶部と、

前記コンプライアンスモデルを用いて、前記外力に応じて前記外力作用関節軸での作業座標系位置に対するコンプライアンス修正量を算出するコンプライアンス修正量算出部と、

前記コンプライアンス修正量と前記部分ヤコビ行列から関節角差分修正量を算出する関節角差分修正量算出部と、

を備え、

前記関節角差分算出部は、前記位置誤差と前記ヤコビ行列から逆運動学計算により修正前の関節角差分を算出し、前記修正前の関節角差分と前記関節角差分修正量との和を関節角差分として出力するロボット制御装置。

【請求項 2】

前記コンプライアンス修正量を記憶する修正量記憶部と、

前記修正量記憶部に格納された複数の修正量からコンプライアンスパラメータを修正するコンプライアンスパラメータ修正部と、

を更に備える請求項 1 記載のロボット制御装置。

【請求項 3】

前記コンプライアンスパラメータ修正部が前記制御周期よりも大きな周期で実行される請求項 2 記載のロボット制御装置。

【請求項 4】

前記外力算出部によって算出された前記外力と許容値とを比較し、前記外力が前記許容値を超えている場合には前記外力を許容値とし、最小値以下の場合には前記外力を 0 とする算出外力制限部を更に備えている請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のロボット制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、モータなどのアクチュエータを用いてロボットを駆動するロボット制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

操作者により指定された動作経路点をロボットが通過していく過程で、操作者が所望する動作の再現実行を行う動作の教示により、ロボットは組立作業などの複雑な動作を実現できる。操作者がロボットに動作を教示する方法としては、操作盤を用いてロボットの各関節やロボットの先端およびツールの位置および姿勢を指定していく間接教示と、ジョイスティックなどを用いた先端の自由度を模したポインティング装置あるいは先端部に取り付けたハンドルを操作者が操作する直接教示とがある。

【0003】

ハンドルを用いた直接教示は操作者にとって直感的であるため、教示にかかる時間を短縮させるというメリットがある。直接教示を実現させる方法としては、ロボットの一部の関節のサーボをフリー状態にして位置姿勢を指定する方法、静止時においてロボットの姿勢を維持するために必要なトルクのみを関節に与えておく方法(重力補償)などがある。しかし、操作者が関節を動かすためには、関節の減速機に起因する摩擦力に打ち勝つだけの外力を与える必要があるため、操作性はあまり良くない。そこでハンドルの取り付け部に力覚センサを設けて、操作者による操作力を入力とする力制御系を構築する方法が用いられることがある。またハンドなどのツールと対象物との衝突を検出するためにさらに力覚センサを取り付けているケースもある(例えば、特許文献 1 参照)。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

しかし力覚センサは高価である上に、衝撃に対して脆弱であるため、力覚センサの使用が敬遠されることが多い。また、力覚センサはロボットの先端部付近に取り付けられることが多いため、リンク部へ付加された外力の検出はできない。

【 0 0 0 5 】

付加的なセンサを用いずに、ロボットの先端部の衝突を検出する方法としては、関節の位置指令などから関節の必要駆動トルクを算出し、算出した必要駆動トルクと、各関節を駆動するモータの電流から求まる駆動トルクとを比較することでロボットの先端部の衝突の判別を行う方法が知られている（例えば、特許文献2参照）。

【 先行技術文献 】

10

【 特許文献 】

【 0 0 0 6 】

【 特許文献 1 】 特許第 3 3 0 7 7 8 8 号公報

【 特許文献 2 】 特許第 3 8 7 8 0 5 4 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

このように、従来技術は、ロボットの先端部の衝突を検出を行うことができる。直接教示の場合においては、先端部だけでなく、各リンク部への操作による教示が必要となるが、従来技術では、リンク部の衝突、すなわちリンク部へ付加された外力を検出することができないので、リンク部への直接教示を行うことができなかった。

20

【 0 0 0 8 】

そこで、本発明は、先端部だけでなく、各リンク部への直接教示が可能なロボット制御装置を提供することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

本発明の一態様は、関節軸及び前記関節軸に駆動力を伝達する駆動軸を有するロボットを制御するロボット制御装置であって、前記関節軸を制御周期毎に駆動するアクチュエータと、前記駆動軸の角度を検出する駆動軸角度検出部と、前記駆動軸の角度から前記関節軸の角度を算出する関節軸角度算出部と、前記関節軸の角度から前記ロボットの先端位置を算出する先端位置算出部と、前記先端位置の位置指令値と、前記先端位置との位置誤差を算出する位置誤差算出部と、前記関節軸の角度に基づいて前記関節軸での作業座標系と関節座標系との間の部分ヤコビ行列を算出し、前記部分ヤコビ行列を統合して前記先端位置での作業座標系と関節座標系との間のヤコビ行列を算出するヤコビ行列算出部と、関節角差分を算出する関節角差分算出部と、前記関節角差分に基づいて関節のトルク指令値を算出するトルク指令値算出部と、前記トルク指令値に基づいて前記アクチュエータを駆動する駆動部と、前記関節軸の角度から前記アクチュエータを駆動するための駆動トルクを推定する駆動トルク推定部と、推定された前記駆動トルクと前記トルク指令値との差を外部トルクとして算出するとともに、前記外部トルクから外力が作用している外力作用関節軸を推定する外部トルク算出部と、前記外部トルクと前記部分ヤコビ行列から、前記外力作用関節軸に作用する外力を算出する外力算出部と、前記外力作用関節軸におけるコンプライアンスモデルを記憶するコンプライアンスモデル記憶部と、前記コンプライアンスモデルを用いて、前記外力に応じて前記外力作用関節軸での作業座標系位置に対するコンプライアンス修正量を算出するコンプライアンス修正量算出部と、前記コンプライアンス修正量と前記部分ヤコビ行列から前記関節角差分修正量を算出する関節角差分修正量算出部と、を備え、前記関節角差分算出部は、前記位置誤差と前記ヤコビ行列から逆運動学計算により修正前の関節角差分を算出し、前記修正前の関節角差分と前記関節角差分修正量との和を関節角差分として出力することを特徴とする。

30

40

【 発明の効果 】

【 0 0 1 0 】

50

本発明によれば、ロボットの先端部のみならず、各リンク部への直接教示が可能なロボット制御装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の一実施形態によるロボット制御装置を示すブロック図。

【図2】制御対象であるロボットの一例を示す概略図。

【図3】図2に示すロボットの可動部を示す概略図。

【図4】一実施形態に係る駆動トルク推定部を示すブロック図。

【図5】一実施形態によるロボット制御装置の動作を示すフローチャート。

【図6】一実施形態に係る駆動トルク推定処理の一例を示すフローチャート。

【図7】一実施形態の変形例によるロボット制御装置を示すブロック図。

【図8】一実施形態の変形例に係るコンプライアンスパラメータ修正量算出処理を示すフローチャート。

【図9】制御対象の他の例を示す概略図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明の実施形態を以下に図面を参照して説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。ただし、図面は模式的なものであり、具体的な寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。又、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることはもちろんである。

【0013】

また、以下に示す実施形態は、この発明の技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、この発明の技術的思想は、構成部品の材質、形状、構造、配置等を下記のものに特定するものでない。この発明の技術的思想は、特許請求の範囲において、種々の変更を加えることができる。

【0014】

本発明の一実施形態によるロボット制御装置は、図1に示すように、中央演算処理装置(CPU)1と、アクチュエータ100と、駆動部(アンプ)101と、駆動軸角度検出部102と、位置データ記憶部200と、リンクパラメータ記憶部201と、摩擦係数記憶部202と、ヤコビ行列記憶部203と、力/モーメントデータ記憶部204と、コンプライアンスモデル記憶部205と、を備えている。

【0015】

この実施形態において制御対象の一例とするロボットは、図2に模式的に示すように、本体300と、本体300に設けられた可動部310と、を備えている。可動部310は、複数のリンク301、302と、駆動プーリ303及び従動プーリ304から構成される複数の関節306、307と、駆動プーリ303及び従動プーリ304に巻きつけた伝達機構(例えば、ベルト)308と、を有する。

【0016】

図3に模式的に示すように、駆動プーリ303、減速機309、アクチュエータ100及び駆動軸角度検出部102が、駆動軸(関節)306に取り付けられている。アクチュエータ100が制御周期毎に回転駆動し、減速機309が回転数を落とシトルクを上げる。一方、従動プーリ304及び関節軸角度検出部305が関節軸(関節)307に取り付けられている。駆動軸306の回転により、駆動プーリ303、伝達機構308及び従動プーリ304を介して関節軸307が回転駆動する。本実施形態のロボット制御装置においては、簡単のために、駆動軸306及び関節軸307に対して制御する場合について説明する。

【0017】

駆動軸角度検出部102及び関節軸角度検出部305のそれぞれは、エンコーダ等の位置センサが使用可能であり、所定の周波数成分を除去するフィルタを備えていても良い。駆動軸角度検出部102は、駆動軸306の位置の変位量(駆動軸角度)を検出する。関

10

20

30

40

50

節軸角度検出部 305 は、関節軸 307 の位置の変位量（関節軸角度）を検出する。また関節軸角度は、関節軸角度検出部 305 によって検出する代わりに、駆動軸角度と、減速機 309 の減速比および伝達機構 308 の伝達比とを用いて算出しても良い。

【0018】

図 1 に示した CPU1 は、関節軸角度算出部 103 と、先端位置算出部 104 と、ヤコビ行列算出部 105 と、駆動トルク推定部 106 と、外部トルク算出部 107 と、外力算出部 108 と、算出外力制限部 109 と、コンプライアンス修正量算出部 110 と、関節角差分修正量算出部 111 と、位置指令値生成部 112 と、位置誤差算出部 113 と、関節角差分算出部 114 と、トルク指令値算出部 115 と、をハードウェア資源であるモジュール（論理回路）として論理的に備えている。

10

【0019】

関節軸角度算出部 103 は、駆動軸角度検出部 102 により算出された駆動軸角度に基づいて、減速機 309 の減速比と、伝達機構 308 のもつ駆動軸 306 と関節軸 307 の比とに応じた関節軸角度を算出する。なお、関節軸 307 に取り付けた関節軸角度検出部 305 により関節軸角度を直接算出してもよい。

【0020】

先端位置算出部 104 は、リンクパラメータ記憶部 201 からリンクパラメータを読み出し、関節軸角度算出部 103 により算出された関節軸角度と、読み出されたリンクパラメータとを用いて、順運動学計算によりロボットの作業座標系における先端位置を算出する。

20

【0021】

ヤコビ行列算出部 105 は、関節軸角度算出部 103 により算出された関節軸角度から、ヤコビ行列を算出し、ヤコビ行列記憶部 203 に格納する。ヤコビ行列とは、ロボットの作業座標系と関節座標系との間の微小変位関係を表現した行列である。ヤコビ行列を J とし、ロボットの先端位置の誤差 x と、関節角差分 θ は式 (1) の関係を満たしている。

$$x = J \theta \quad \dots \quad (1)$$

【0022】

駆動トルク推定部 106 は、駆動軸角度検出部 102 により算出された駆動軸角度と、関節軸角度算出部 103 により算出された関節軸角度とを用いて、ロボットの関節軸 307 を駆動するのに必要な駆動トルクを推定する。この駆動トルク推定部 106 の一具体例を図 4 に示す。この具体例の駆動トルク推定部 106 は、図 4 に示すように、駆動軸速度算出部 400 と、摩擦カトルク算出部 401 と、慣性カトルク算出部 402 と、重力トルク算出部 403 と、加算部 404 と、を備えている。

30

【0023】

駆動軸速度算出部 400 は、関節軸角度算出部 103 により算出された関節軸角度に基づいて、例えば関節角の時間差分を取ることにより駆動軸速度を算出する。摩擦カトルク算出部 401 は、摩擦係数記憶部 202 に格納された摩擦係数を読み出して、駆動軸速度算出部 400 により算出された駆動軸速度と、読み出された摩擦係数とを用いてクーロン摩擦、粘性摩擦等に相当する摩擦カトルクを算出する。

40

【0024】

慣性カトルク算出部 402 は、速度算出ユニット 410 と、加速度算出ユニット 411 と、慣性モーメント算出ユニット 412 と、慣性カトルク算出ユニット 413 と、を備えている。速度算出ユニット 410 は、関節軸角度算出部 103 により算出された関節軸角度を用いて関節角速度を算出する。加速度算出ユニット 411 は、速度算出ユニット 410 により算出された関節角速度に基づいて関節角加速度を算出する。慣性モーメント算出ユニット 412 は、リンクパラメータ記憶部 201 からリンクパラメータを読み出し、リンクパラメータと、関節軸角度算出部 103 により算出された関節軸角度とを用いて各リンク 301、302 の慣性モーメントを算出する。慣性カトルク算出ユニット 413 は、

50

加速度算出ユニット 4 1 1 により算出された関節角加速度と、慣性モーメント算出ユニット 4 1 2 により算出された慣性モーメントとを用いて慣性力トルクを算出する。

【 0 0 2 5 】

重力トルク算出部 4 0 3 は、リンクパラメータ記憶部 2 0 1 からリンクパラメータを読み出し、読み出されたリンクパラメータと、関節軸角度算出部 1 0 3 により算出された関節軸角度とを用いて、各リンク 3 0 1、3 0 2 に作用する重力を算出し、この算出された重力を補償する重力トルクを算出する。

【 0 0 2 6 】

加算部 4 0 4 は、摩擦トルク算出部 4 0 1 により算出された摩擦トルクと、慣性力トルク算出ユニット 4 1 3 により算出された慣性力トルクと、重力トルク算出部 4 0 3 により算出された重力トルクとを加算し、その和を推定した駆動トルクとして出力する。

10

【 0 0 2 7 】

図 1 に示した外部トルク算出部 1 0 7 は、駆動トルク推定部 1 0 6 により推定された駆動トルクと、トルク指令値算出部 1 1 6 により算出されたトルク指令値との差を外部トルクとして算出する。

【 0 0 2 8 】

外力算出部 1 0 8 は、外部トルク算出部 1 0 7 により算出された外部トルクと、ヤコビ行列算出部 1 0 5 により算出されたヤコビ行列とを用いて外力を算出する。仮想仕事の原理より、次の式 (2) のように外部トルク τ_d にヤコビ行列 J の転置行列 J^T の逆行列を乗じることにより外力 f_d が算出される。

20

$$f_d = (J^T)^{-1} \tau_d \quad \dots (2)$$

ここで、ロボットの先端部ではなくリンク部に外力が作用した場合、先端部に近い駆動軸の外部トルクは 0 である。そこで外部トルクベクトル τ_d の各要素において 0 とならない部分ベクトルを τ_{d_i} とし、この部分ベクトル τ_{d_i} を次の式 (3) のように表す。

$$\tau_{d_i} = (\tau_{d_{i1}}, \dots, \tau_{d_{ii}}) \quad \dots (3)$$

すなわち、ベースから第 i 番目の関節軸に働く外力は 0 ではないが、第 $i + 1$ 番目から先端部までの関節軸に働く外力が 0 とする。この場合、第 i 番目の関節軸までの部分ヤコビ行列 J_i の転置行列 J_i^T の逆行列を乗じることによって第 i 番目の関節軸において作用する外力が求められる。ベースから第 i 番目の関節軸までの部分ヤコビ行列 J_i はヤコビ行列の一部であり、次の式 (4) を用いて求められる。

30

【 数 1 】

$$J_i = \begin{pmatrix} z_1 \times (p_i - p_1), \dots, z_i \times (p_i - p_i) \\ z_1, \dots, z_i \end{pmatrix} \quad \dots (4)$$

40

ここで、 z_i は第 i 番目の関節軸の関節座標系の関節軸回転方向ベクトル、 p_i はベース座標系から見た第 i 番目の関節軸の関節座標系原点の位置ベクトルである。式 (4) において、記号「 \times 」はベクトルの外積を示す。第 i 番目の関節軸を外力作用関節と呼ぶと、外力作用関節において作用する外力 f_{d_i} は、次の式 (5) を用いて外力算出部 1 0 8 によって算出することができる。

$$f_{d_i} = (J_i^T)^{-1} \tau_{d_i} \quad \dots (5)$$

【 0 0 2 9 】

1 0 9 は、力ノモーメントデータ記憶部 2 0 4 に記憶された許容力および許容モーメン

50

トデータ（許容値）を読み出して、もし算出された外力が許容値を超えている場合は飽和处理を行う。すなわち、許容値を算出された外力として出力する。また、設定された最小値よりも小さい場合は算出された外力を0として算出する（不感帯処理）。算出された外力が最小値以上で許容値以下の場合には、算出された外力をそのまま出力する。

【0030】

コンプライアンス修正量算出部111は、コンプライアンスモデル記憶部205からコンプライアンスモデルを読み出して、読み出されたコンプライアンスモデルを用いて、算出外力制限部109の出力に応じた位置修正量を算出する。ここで、コンプライアンスモデルとは、例えば式(6)に示すように接触対象との間において仮想的に慣性、粘性、剛性を想定したものである。

$$M d^2 x / dt^2 + D d x / dt + K x = K_f f \quad \dots (6)$$

ここで、 x は外力作用関節に設定された作業座標系での誤差、 dx/dt は作業座標系での速度、 d^2x/dt^2 は作業座標系での加速度ベクトル、 M は慣性行列、 D は粘性係数行列、 K は剛性係数行列、 K_f はカフィードバックゲイン行列である。力と位置の作用させる軸を切り替えるコンプライアンス選択行列はカフィードバックゲイン行列 K_f に含んだ形になっている。誤差の速度 dx/dt 及び加速度ベクトル d^2x/dt^2 は、それぞれ位置誤差ベクトル x の時間に関する一回差分、二回差分で近似できることから、外力作用関節でのコンプライアンス修正量 x_{comp} は、次の式(7)を用いて算出することができる。

$$x_{comp} = 1/K (K_f f - M d^2 x / dt^2 - D d x / dt) \quad \dots (7)$$

【0031】

関節角差分修正量算出部111は、コンプライアンス修正量 x_{comp} から部分ヤコビ行列 J_i の逆行列を用いて外力作用関節までの関節角差分修正量を、次の式(8)を用いて算出する。

$$x_{comp} = J_i^{-1} x_{comp} \quad \dots (8)$$

【0032】

位置指令値生成部112は、位置データ記憶部200に記憶された目標先端位置データを読み出して、この目標先端位置データから各制御周期における補間された先端位置指令値を算出する。

【0033】

位置誤差算出部113は、位置指令値生成部112により生成した先端位置指令値 x_R と、先端位置算出部104により算出された現在の先端位置 x とに基づいて、次の式(9)を利用して位置誤差 x を算出する。

$$x = x_R - x \quad \dots (9)$$

【0034】

関節角差分算出部114は、位置誤差算出部113により算出された誤差 x と、ヤコビ行列 J の逆行列 J^{-1} とを用いて算出した、誤差 x による関節角差分に、先の関節角差分修正量 x_{comp} を加えて次の式(10)のように算出する。

$$= J^{-1} x + x_{comp} \quad \dots (10)$$

トルク指令値算出部115は、関節角差分算出部114により算出された関節角差分を積分することによりトルク指令値（制御目標値）を生成する。駆動部101は、トルク指令値算出部115により算出されたトルク指令値にしたがってアクチュエータ100を制

10

20

30

40

50

御周期毎に駆動する。

【 0 0 3 5 】

位置データ記憶部 2 0 0、リンクパラメータ記憶部 2 0 1、摩擦係数記憶部 2 0 2、ヤコビ行列記憶部 2 0 3、力/モーメントデータ記憶部 2 0 4、及びコンプライアンスモデル記憶部 2 0 5としては、例えば半導体メモリ、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスクや磁気テープ等が採用可能である。

【 0 0 3 6 】

位置データ記憶部 2 0 0は、位置指令値生成部 1 1 1が先端位置指令値を生成するために使用する目標先端位置データ列を記憶している。リンクパラメータ記憶部 2 0 1は、ロボットのリンク 3 0 1、3 0 2に関するリンクパラメータを記憶している。摩擦係数記憶部 2 0 2は、摩擦カトルク算出部 4 0 1が摩擦カトルクを算出するために使用する、予め定速運転において速度 - トルク関係から求めておいた摩擦係数データを記憶している。ヤコビ行列記憶部 2 0 3は、ヤコビ行列算出部 1 0 5により算出されるヤコビ行列を記憶している。力/モーメントデータ記憶部 2 0 4は、力指令値生成部 1 0 9が先端位置力指令値を生成するために使用する目標先端力データ列を記憶している。コンプライアンスモデル記憶部 2 0 5は、予め設定されたコンプライアンスモデルを記憶している。

【 0 0 3 7 】

(ロボット制御方法)

次に、本実施形態によるロボット制御装置の動作を、図 5 に示すフローチャートを参照しながら説明する。

【 0 0 3 8 】

(a) まず、制御演算を開始し、位置指令値生成部 1 1 2 によって、位置データ記憶部 2 0 0 から目標先端位置データ列が読み出されて、目標先端位置データ列に基づいて各制御周期における先端位置指令値が生成される (ステップ、 S 1 0 0、S 1 0 1)。次に、ステップ S 1 0 2 において、位置指令値生成部 1 1 2 により生成された先端位置指令値と、先端位置算出部 1 0 4 により算出された先端位置との誤差が位置誤差算出部 1 1 3 によって算出される。続いて、ステップ S 1 0 3 において、位置誤差算出部 1 1 3 により算出された誤差に対して、関節角差分算出部 1 1 4 によって、ヤコビ行列記憶部 2 0 3 から読み出したヤコビ行列を用いて式 (1 0) に示すように、逆運動学計算を行って関節角差分が、後述する関節角差分修正量を考慮して算出される。

【 0 0 3 9 】

その後、ステップ S 1 0 4 において、関節角差分算出部 1 1 4 により算出された関節角差分を積分することによりトルク指令値がトルク指令値算出部 1 1 5 によって算出される。次に、ステップ S 1 0 5 において、トルク指令値算出部 1 1 5 により算出されたトルク指令値を制御目標値として駆動部 1 0 1 によってアクチュエータ 1 0 0 が駆動されることにより、駆動軸 3 0 6 が駆動され、先端位置が制御される。続いて、ステップ S 1 0 6 において、制御演算の終了を確認し、ステップ S 1 0 7 でサーボ処理を終了する。ステップ S 1 0 6 において制御演算が終了でなければ後述するステップ S 1 0 8 に進む。

【 0 0 4 0 】

(b) 次に、ステップ S 1 0 8 において、駆動軸角度検出部 1 0 2 によって駆動軸角度を検出する。次に、ステップ S 1 0 9 において、駆動軸角度検出部 1 0 2 により算出された駆動軸角度から、減速機の減速比などに基づいて関節軸角度算出部 1 0 3 によって関節軸角度が算出される。ステップ S 1 1 0 において、先端位置算出部 1 0 4 によって、リンクパラメータ記憶部 2 0 1 からリンクパラメータが読み出され、この読み出されたリンクパラメータと、関節軸角度算出部 1 0 3 により算出された関節軸角度とを用いて、順運動学計算により、先端位置が算出される。ステップ S 1 1 1 において、関節軸角度算出部 1 0 3 により算出された関節軸角度を用いて、ヤコビ行列算出部 1 0 5 によってヤコビ行列が算出される。

【 0 0 4 1 】

(c) 次に、ステップ S 1 1 2 において、駆動軸角度検出部 1 0 2 により算出された駆

10

20

30

40

50

動軸角度と、関節軸角度算出部 103 により算出された関節軸角度とを用いて駆動トルク推定部 106 によって駆動トルクが推定される。ステップ S 113 において、駆動トルク推定部 106 により推定された駆動トルクと、トルク指令値算出部 116 により算出された実際のトルク指令値との差から外部トルク算出部 107 によって外部トルクが算出される。ステップ S 114 において、外部トルク算出部 107 により算出された外部トルクと、ヤコビ行列算出部 105 により算出された部分ヤコビ行列とを用いて、外力算出部 108 によって式 (5) に示す外力が算出される。

【0042】

(d) 次に、ステップ S 115 において、力/モーメントデータ記憶部 204 から許容力/モーメントデータ列が読み出されて、この読み出された許容力/モーメントデータ列と、外力算出部 108 によって算出された外力とが 109 によって比較され、この比較結果に基づいて、制限された外力が出力される。すなわち、算出外力制限部 109 によって飽和処理または不感帯処理が行われる。

10

【0043】

(e) 次に、ステップ S 116 において、コンプライアンス修正量算出部 110 によってコンプライアンスモデル記憶部 205 からコンプライアンスモデルが読み出され、コンプライアンスモデルを用いて式 (7) に示すように算出外力制限部 109 により制限された外力に応じた外力作用関節での修正量がコンプライアンス修正量算出部 110 によって算出される。ステップ S 117 において、コンプライアンス修正量から部分ヤコビ行列を用いて式 (8) に示すように関節角差分修正量が関節角差分修正量算出部 111 によって算出される。ステップ S 103 に戻り、式 (9) に示すように、位置指令値生成部 112 により生成された先端位置指令値と、先端位置算出部 104 により算出された先端位置との誤差にヤコビ行列の逆行列を乗じたものに、関節角差分修正量算出部 111 から算出された修正量を考慮した関節角差分が位置誤差算出部 113 によって算出される。

20

【0044】

(駆動トルク推定処理)

次に、図 5 に示したステップ S 112 の駆動トルク推定処理を図 6 に示すフローチャートを参照しながら説明する。

【0045】

(a) ステップ S 200 において、駆動トルク推定処理が開始され、ステップ S 201 において、駆動軸角度検出部 102 により検出された駆動軸角度から時間差分を取ることにより駆動軸速度算出部 400 によって駆動軸速度が算出される。更に、摩擦係数記憶部 202 から摩擦係数が読み出され、この読み出された摩擦係数と、駆動軸速度算出部 400 により算出された駆動軸速度とを用いて摩擦カトルク算出部 401 によって摩擦カトルクが算出される。

30

【0046】

(b) ステップ S 202 において、関節軸角度算出部 103 により算出された関節軸角度の時間差分を取ることにより速度算出ユニット 410 によって関節角速度が算出される。ステップ S 203 において、速度算出ユニット 410 により関節角速度の時間差分を取ることにより加速度算出ユニット 411 によって関節角加速度が算出される。ステップ S 204 において、リンクパラメータ記憶部 201 からリンクパラメータが読み出され、関節軸角度算出部 103 により算出された関節軸角度と、読み出されたリンクパラメータと、を用いて慣性モーメント算出ユニット 412 によって、各関節におけるリンクの慣性モーメントが算出される。ステップ S 205 において、加速度算出ユニット 411 により算出された関節角加速度と、慣性モーメント算出ユニット 412 により算出された慣性モーメントとに基づいて、慣性カトルク算出ユニット 413 によって慣性カトルクが算出される。

40

【0047】

(c) ステップ S 206 において、リンクパラメータ記憶部 201 からリンクパラメータが読み出され、関節軸角度算出部 103 により算出された関節軸角度と、読

50

み出されたリンクパラメータとに基づいて、重力トルク算出部403によって各リンク301、302に作用する重力が算出され、これを補償する重力トルクが算出される。

【0048】

(d)ステップS207において、摩擦力トルク算出部401により算出された摩擦力トルクと、慣性力トルク算出ユニット413により算出された慣性力トルクと、重力トルク算出部403により算出された重力トルクとが加算部404によって加算されて、推定した駆動トルクとして算出される。ステップS208において駆動トルク推定処理が終了する。

【0049】

以上説明したように、本実施形態によれば、それぞれのリンクへ作用する外力を推定することが可能となり、推定した外力に基づいて設定したコンプライアンスモデルにより柔軟な動作を行うことで、ロボットへの簡便な直接教示を実現することができる。

【0050】

(変形例)

本実施形態の変形例によるロボット制御装置を図7に示す。この変形例のロボット制御装置は、コンプライアンスモデルのパラメータ変更を行うことが可能な制御装置である。この変形例のロボット制御装置は、図1に示す本実施形態のロボット制御装置において、コンプライアンスパラメータ修正部116を新たに設けた構成を有している。

【0051】

直接教示のために操作者によって加えられる外力に対するコンプライアンスモデルと、衝突時のコンプライアンスモデルとは異なっており、通常、コンプライアンスモデルのパラメータを変更することで対応している。しかし付加的なセンサを用いない場合、意図された外力と衝突による外力とを明確に区別することは困難であり、またそれぞれのパラメータセットを連続的に変化させなければ、パラメータの切り替え時に安定して動作することができない。

【0052】

そこで図7に示す変形例のように、コンプライアンスパラメータ修正部116を設けることにより衝突時においても安定して動作することを可能にする。このコンプライアンスパラメータ修正部116は、コンプライアンス修正量算出部110より算出されたコンプライアンス修正量の履歴から、コンプライアンスモデルのパラメータを変更し、これをコンプライアンスモデル記憶部205に書き込んでいく。動作開始時においては衝突時用のコンプライアンスモデルのパラメータであり、修正量は直接教示により発生しているため、発生した外力成分のみパラメータが変更され、より柔軟性を増して操作性を向上させることができる。

【0053】

また、コンプライアンスモデルのパラメータの修正は、定期的な周期で行ってもよい。このパラメータを修正する周期は、制御周期の数倍程度を取ることもある。これによりパラメータの修正によりロボットの動作が振動的にならない効果がある。

【0054】

次に、この変形例のコンプライアンスパラメータ修正部の動作を図8に示すフローチャートを参照しながら説明する。

【0055】

ステップS301において、コンプライアンスパラメータ修正処理を開始する。ステップS302において、本制御周期(パラメータを修正する周期)においてコンプライアンスモデルのパラメータを修正するかどうかを確認する。修正しない場合はステップS304へ進み、終了する。修正する場合はステップS303へ進み、コンプライアンスパラメータ修正部116によってコンプライアンスモデルのパラメータが修正され、コンプライアンスモデル記憶部205に修正結果が書き込まれ、ステップS304にて終了する。

【0056】

上記のように、本発明の実施形態を説明したが、この開示の一部をなす論述及び図面は

10

20

30

40

50

この発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかとなる。

【0057】

例えば、本発明の実施形態において、慣性力トルクの算出の際に、速度算出ユニット410及び加速度算出ユニット411による関節軸角度の時間に関する二回差分で算出された関節角加速度を用いているが、制御周期によっては時間遅れが大きくなりトルク誤差が大きくなりやすくなる。その場合は、図9に示すように、リンク301に搭載した加速度センサ311からリンク301の加速度を検出し、検出した加速度を加速度算出ユニット411が関節角加速度へ変換して、この関節角加速度を基に慣性力トルクを算出してよい。

10

【0058】

また、駆動トルク推定処理としては、摩擦力トルクと、慣性力トルクと、重力トルクとを用いて駆動トルクを推定する一例を示したが、これに限定されるものではない。例えば、遠心力やコリオリの力等のパラメータを更に考慮しても良い。

【0059】

また、CPU1、位置データ記憶部200、リンクパラメータ記憶部201、摩擦係数記憶部202、ヤコビ行列記憶部203、力/モーメントデータ記憶部204及びコンプライアンスモデル記憶部205等が制御対象であるロボットの内部に埋め込まれて一体化されていても良い。また、CPU1、位置データ記憶部200、リンクパラメータ記憶部201、摩擦係数記憶部202、ヤコビ行列記憶部203、力/モーメントデータ記憶部204及びコンプライアンスモデル記憶部205等が制御対象であるロボットの外部にあり、ロボットを有線或いは無線で遠隔制御することも可能である。

20

【0060】

このように、本発明はここでは記載していない様々な実施形態等を含むことは勿論である。したがって、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

【符号の説明】

【0061】

1 中央演算処理装置(CPU)

100 アクチュエータ

101 駆動部

102 駆動軸角度検出部

103 関節軸角度算出部

104 先端位置算出部

105 ヤコビ行列算出部

106 駆動トルク推定部

107 外部トルク算出部

108 外力算出部

109 算出外力制限部

110 コンプライアンス修正量算出部

111 関節角差分修正量算出部

112 位置指令値生成部

113 位置誤差算出部

114 関節角差分算出部

115 トルク指令値算出部

115 コンプライアンスパラメータ修正量算出部

200 位置データ記憶部

201 リンクパラメータ記憶部

202 摩擦係数記憶部

203 ヤコビ行列記憶部

30

40

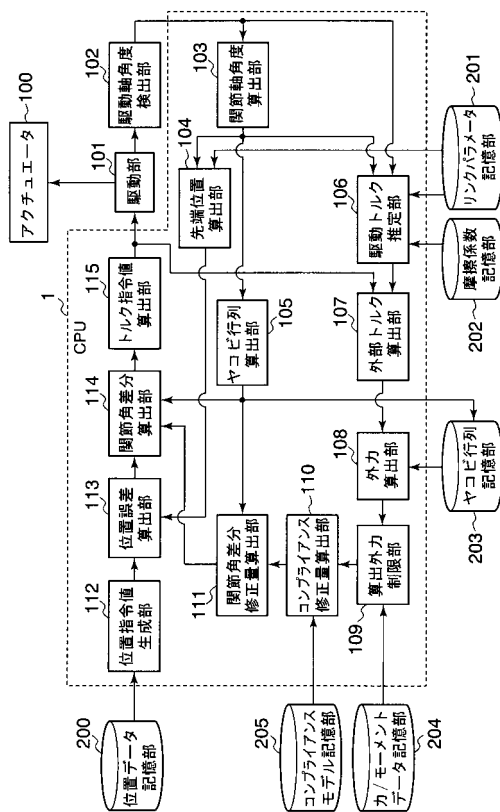
50

- 204 カノモーメントデータ記憶部
- 205 コンプライアンスモデル記憶部
- 300 本体
- 301、302 リンク
- 303 駆動プーリ
- 304 従動プーリ
- 305 関節軸角度検出部
- 306 駆動軸（関節）
- 307 関節軸（関節）
- 308 伝達機構
- 309 減速機
- 310 可動部
- 311 加速度センサ
- 400 駆動軸速度算出部
- 401 摩擦力トルク算出部
- 402 慣性力トルク算出部
- 403 重力トルク算出部
- 404 加算部
- 410 速度算出ユニット
- 411 加速度算出ユニット
- 412 慣性モーメント算出ユニット
- 413 慣性力トルク算出ユニット

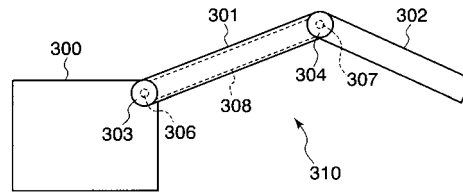
10

20

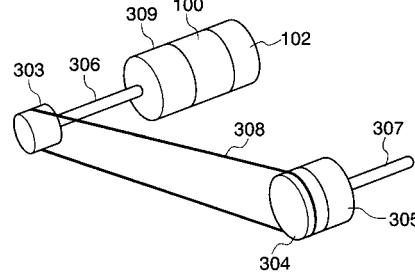
【図1】



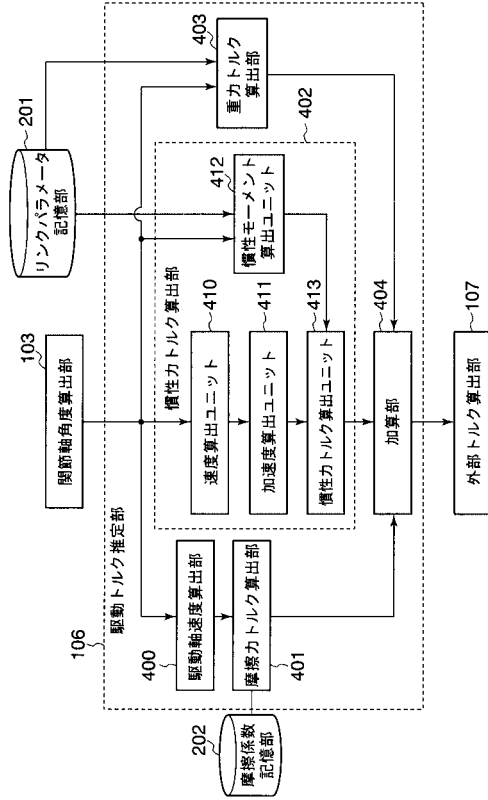
【図2】



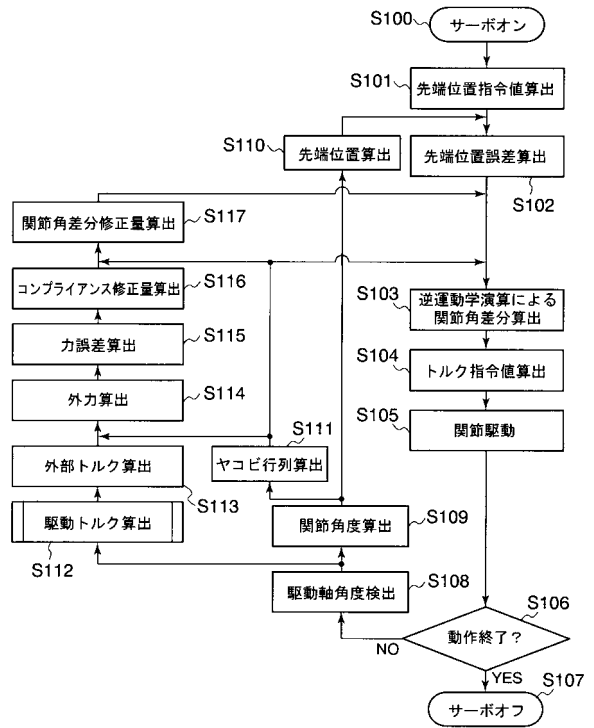
【図3】



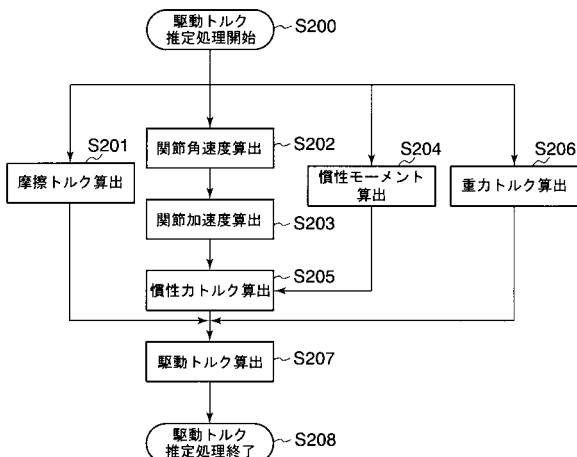
【図4】



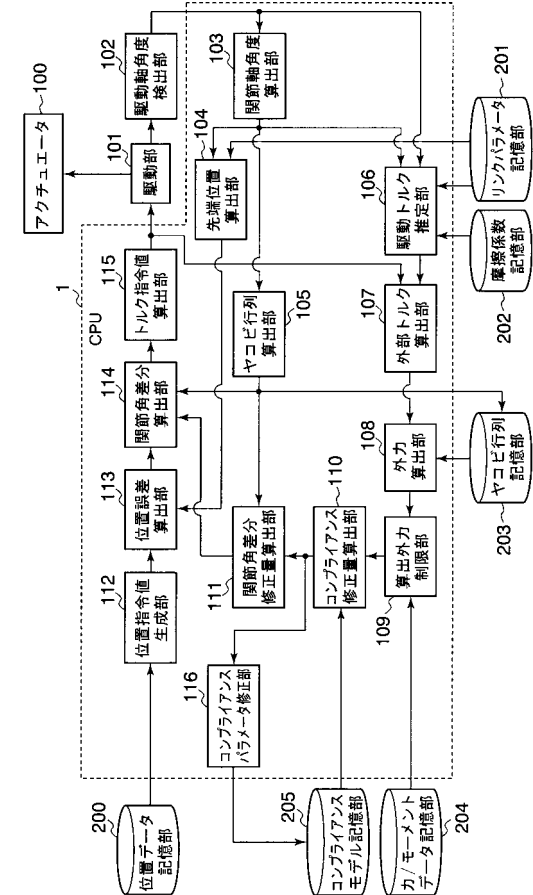
【図5】



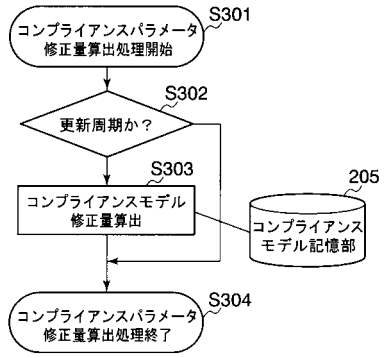
【図6】



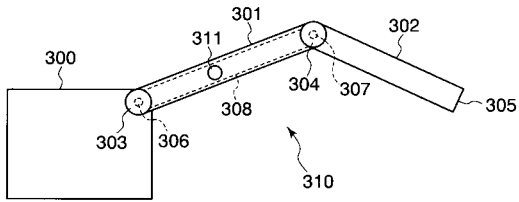
【図7】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

- (72)発明者 大 賀 淳一郎
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産部内
- (72)発明者 大 明 準 治
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産部内
- (72)発明者 小 川 秀 樹
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 知的財産部内

審査官 松浦 陽

- (56)参考文献 特開平09-248322(JP,A)
特開昭61-224012(JP,A)
特開2002-283276(JP,A)
特開2005-100143(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J 1/00 - 21/02
G05B 19/18 - 19/46