

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015年9月17日(17.09.2015)



(10) 国際公開番号

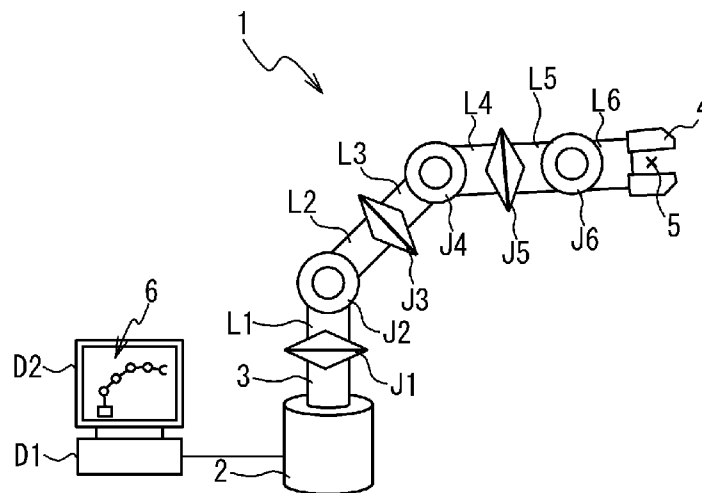
WO 2015/137167 A1

- (51) 国際特許分類:
B25J 9/22 (2006.01) B25J 19/06 (2006.01)
B25J 13/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/055929
- (22) 国際出願日: 2015年2月27日(27.02.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-052546 2014年3月14日(14.03.2014) JP
- (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 松波 夏樹 (MATSUNAMI Natsuki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 田見 智宏 (TAMI Tomohiro); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 川内 直人 (KAWAUCHI Naoto); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 工藤 実 (KUDOH Minoru); 〒1400013 東京都品川区南大井六丁目24番10号カドヤビル6階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: ROBOT SIMULATOR AND METHOD, CONTROL DEVICE, AND ROBOT SYSTEM

(54) 発明の名称: ロボットのシミュレーション装置及び方法、制御装置、及びロボットシステム



(57) Abstract: In the present invention, an angular movement range and a safety region defined therein are set for each joint of an articulated manipulator. An angle command value for each of the joints is generated on the basis of the current angle of the joint and a hand position command value. If the angle command value exceeds the safety range, fault avoidance control for reducing the speed of change of the angular command value is performed when the angular command value for the joint is to be generated.

(57) 要約: 多関節マニピュレータの各関節について、角度の可動範囲と、その内側に定義される安全域とを設定する。各関節の現在角度と、手先位置指令値とに基づいて、各関節の角度指令値を生成する。角度指令値が安全域を超えた場合、その関節の角度指令値を生成する際に、角度指令値の変化速度を小さくする障害回避制御を行う。

WO 2015/137167 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

ロボットのシミュレーション装置及び方法、制御装置、及びロボットシステム

技術分野

[0001] 本発明は、多関節マニピュレータを備えたロボットの制御に関する。

背景技術

[0002] 多関節マニピュレータ（多関節アーム）を備えたロボットが知られている。図1は、多関節マニピュレータの参考例を示す。多関節マニピュレータ101は、直列的に接続された複数のリンクL101～L106を備える。隣接する一对のリンク（例えばリンクL101とL102）は、その間に設けられた関節（関節J102）によって互いに可動的に接続される。図1の例では、6つの回転関節（関節J101～J106）を有する多関節マニピュレータ101が描かれている。

[0003] 具体的には、固定された基部102に、支持部103の一端が取り付けられる。支持部103の他端に、第1の関節J101の一方側が取り付けられる。第1の関節J101の他方側に、第1のリンクL101の一端が取り付けられる。第1のリンクL101の他端に、第2の関節J102の一方側が取り付けられる。以下、同様に、第5のリンクL105の他端に第6の関節J106の一方側が取り付けられる。第6の関節J106の他方側に第6のリンクL106の一端が取り付けられる。リンクL106の他端にエンドエフェクタ104が取り付けられる。

[0004] 作業者は、手先（エンドエフェクタの先端などの位置）のワールド座標系における位置（位置指令値）を制御装置に対して指定する。制御装置は、逆運動学計算（inverse kinematics calculation）により、手先が位置指令値の方向に移動するように、各関節J101～J106の角度指令値を計算する。各関節J101～J106は、その角度

指令値に従ってモータ等により駆動される。このような制御により、多関節マニピュレータ 101 の手先を所望の位置に移動することができる。

[0005] 非特許文献 1 には、ロボットの位置制御方法として、線形フィードバック制御を用いる方法、線形化とサーボ補償の 2 段階制御を用いる方法が記載されている。

先行技術文献

非特許文献

[0006] 非特許文献 1：吉川恒夫『ロボット制御基礎論』、コロナ社、1988 年 11 月 25 日発行

発明の概要

[0007] いくつかの実施形態において、シミュレーション装置は、複数の関節を備える多関節マニピュレータのシミュレーション装置である。シミュレーション装置は、複数の関節の各々について、角度の可動範囲と、可動範囲の内側に定義される安全域とを記憶装置に記憶する記憶部と、角度指令値計算部としての演算装置とを具備する。角度指令値計算部は、複数の関節の各々の現在の角度を示す現在角度データと、多関節マニピュレータの手先位置指令値とに基づいて、複数の関節の各々の角度指令値を生成する。角度指令値計算部は、複数の関節のいずれかの内、角度指令値が安全域を超えた関節である停止候補関節が発生したとき、停止候補関節の角度指令値を生成する際に、角度指令値の変化速度を小さくする障害回避制御を行う。

[0008] いくつかの実施形態において、シミュレーション方法は、複数の関節を備える多関節マニピュレータのシミュレーション方法である。シミュレーション方法は、複数の関節の各々について、角度の可動範囲と、可動範囲の内側に定義される安全域とを記憶装置に記憶する工程と、演算装置が、複数の関節の各々の現在の角度を示す現在角度データと、多関節マニピュレータの手先位置指令値とに基づいて、複数の関節の各々の角度指令値を生成する工程とを備える。角度指令値を生成する工程において、複数の関節のいずれかの内、角度指令値が安全域を超えた関節である停止候補関節が発生したとき、

停止候補関節の角度指令値を生成する際に、角度指令値の変化速度を小さくする障害回避制御を行う。

[0009] 本発明により、多関節マニピュレータの制御において、関節の可動範囲による運動の制限を緩和する技術が提供される。

図面の簡単な説明

[0010] 添付の図面は、実施形態の説明を助けるために本明細書に組み込まれる。なお、図面は、本発明を、図示された例および説明された例に限定するものとして解釈されるべきではない。

[図1]図1は、多関節マニピュレータの参考例を示す。

[図2]図2は、多関節マニピュレータの参考例を示す。

[図3]図3は、関節の角度指令値の時間変化を示す。

[図4]図4は、ロボットシステムを示す。

[図5]図5は、関節の制御における計算の説明図である。

[図6]図6は、関節の角度指令値の時間変化を示す。

[図7]図7は、関節の角度指令値の時間変化を示す。

[図8]図8は、コンピュータによって実現される機能ブロックを示す。

[図9]図9は、安全域テーブルを示す。

[図10]図10は、障害回避制御のフローチャートである。

[図11]図11は、データテーブルを示す。

[図12]図12は、多関節マニピュレータのシミュレーション計算の説明図である。

[図13]図13は、多関節マニピュレータ画像の一例を示す。

[図14]図14は、軌道修正処理のフローチャートである。

[図15]図15は、多関節マニピュレータ画像の一例を示す。

[図16]図16は、経由点設定処理のフローチャートである。

[図17]図17は、経由点の設定方法の説明図である。

発明を実施するための形態

[0011] (発明者によって認識された事項)

- [0012] 図2は、参考例における多関節マニピュレータ101を示す。手先105を目標点110に移動する制御を考える。作業者が目標点110を入力すると、制御装置は手先105が目標点110に移動するように関節角度の指令値を計算する。その指令値に従って、手先105が目標点110に到達するように各関節が駆動される。図2には、この動作において手先105が描く軌道111が描かれている。
- [0013] このような制御においては、制御装置が手先105の位置及び姿勢について指令値を与え、その指令値に基づいて、各関節の角度の指令値を逆運動学により計算する。その各関節角度の指令値により、多関節マニピュレータ101が駆動される。
- [0014] 各関節角度を計算する逆運動学計算において、手先速度と関節角速度の関係付けを与えるヤコビ行列を用いると、容易かつシステマティックに指令値を計算することができる。この場合、ヤコビ行列を用いて算出された関節角速度を時間積分することにより、各関節の角度変位（角度の変化量） $\delta\theta$ の指令値が求められる。この変化量 $\delta\theta$ の指令値と関節の角度の現在値を足すことにより、関節の角度の指令値が得られる。
- [0015] 次に、このように指令値を算出する場合に発生し得る問題について説明する。説明を簡単にするために、図2の多関節マニピュレータ101において3つの関節J102、J104、J106のみが駆動されることと仮定する。図3は、手先105が軌道111を描いて動く場合に、上記のような方法で算出された各関節J102、J104、J106の角度の例を示す。図3の横線は時間を示す。図3（a）に曲線で描かれている角度121は関節J102の角度 θ_1 の時間変化を示す。図3（b）に曲線で描かれている角度122は関節J104の角度 θ_2 の時間変化を示す。図3（c）に曲線で描かれている角度123は関節J106の角度 θ_3 の時間変化を示す。
- [0016] 多関節マニピュレータ101の各関節J102、J104、J106の可動範囲が狭い場合などの場合を考えると、手先105が目標点110に接近することが難しい可能性がある。図3には、各関節J102、J104、J

106の可動範囲が示されている。関節J102の角度 θ_1 は、下限値LL101と上限値UL101の間の範囲で可動であり、その範囲を超えることは出来ないものとする。同様に、関節J104の角度 θ_2 は、下限値LL102と上限値UL102の間の範囲で可動であり、関節J106の角度 θ_3 は、下限値LL103と上限値UL103の間の範囲で可動である。

[0017] 図3の例では、時刻 t_1 において関節J102の角度 θ_1 が下限値LL101を下回っている。従って、順運動計算（forward kinematics calculation）及び逆運動計算に従って目標点110に到達するための関節角度を計算しても、時刻 t_1 において関節J102が可動範囲を超えてしまう。このような場合、その時刻で動作停止をさせるインターロックを設けることが普通である。そのため、ヤコビ行列を用いた順運動学及び逆運動学計算をリアルタイムに行いながら多関節マニピュレータ101を制御している場合には、時刻 t_1 で関節の運動が停止してしまう。

[0018] 図3の例では、仮に関節J102、J104、J106の可動範囲に制限が無いと考えた場合に手先105が目標点110に到達する時刻 t_2 において、すべての関節の角度 $\theta_1 \sim \theta_3$ は、それぞれの可動範囲の内側に収まっている。すなわち、関節角度の指令値が一旦は可動範囲を超えているものの、手先105が目標点110に達した段階での多関節マニピュレータ101の姿勢においては、各関節J102、J104、J106の角度は可動範囲内である。従って、途中の軌道111が異なっていれば、手先105を目標点110に移動することができた可能性がある。

[0019] なお、図2および図3は、発明者によって認識された事項を説明するために便宜的に使用された図である。よって、図2および図3は、本願出願前における公知技術を示すものではない。

[0020] 以下、添付図面を参照して、実施形態を説明する。以下の詳細な説明においては、実施形態の包括的な理解を提供するために、説明の目的で多くの詳細な特定事項が開示される。しかし、一又は複数の実施形態は、これらの詳細な特定事項なしで実行可能であることが明らかである。

[0021] 図4は、実施形態における多関節マニピュレータ1と、コンピュータD1と、表示装置D2とを備えたロボットシステムを示す。多関節マニピュレータ1は、床面等に固定された基部2を備える。基部2に、支持部3の一端が固定される。基部2が台車等によって移動可能な場合には、その移動についての座標変換を施せば、以下の説明は同様に適用できる。

[0022] 支持部3の他端は、関節J1の一方側に固定される。関節J1の他方側に、第1のリンクL1の一端が取り付けられる。第1のリンクL1の他端に、第2の関節J2の一方側が取り付けられる。以下、同様にして、第5のリンクL5の他端に第6の関節J6の一方側が取り付けられる。第6の関節J6の他方側に、第6のリンクL6の一端が取り付けられる。第6のリンクL6の他端に、エンドエフェクタ4が取り付けられる。図4の例では、6個の関節J1～J6を備える多関節マニピュレータ1が描かれているが、これより多い、またはこれより少ないn個（nは、1以上の自然数）の関節J1～Jnを備えたn自由度の多関節マニピュレータ1を用いてもよい。

[0023] 作業者は、多関節マニピュレータ1のエンドエフェクタ4の先端などに設定される手先5のワールド座標系における所望の位置（移動目標位置）及び所望の姿勢（目標姿勢）を示す位置指令値及び姿勢指令値（最終的な目標値）を制御装置に対して指定する。制御装置は、手先5が位置指令値及び姿勢指令値に示された状態に向かうように、各関節J1～J6の角度指令値を生成する。各関節J1～J6は、その角度指令値に従ってモータ等により駆動される。このような制御により、多関節マニピュレータ1の手先5を所望の位置に移動することができる。

[0024] 多関節マニピュレータ1に、コンピュータD1が接続される。コンピュータD1は、ハードディスク等の有体の非遷移的（*tangible, non-transitory*）な記憶媒体（記憶装置）と、ハードウェアプロセッサを含む演算装置とを備える。コンピュータD1（より具体的には、コンピュータの演算装置）は、記憶媒体に格納されたソフトウェア（プログラム）を実行することによって、多関節マニピュレータ1の状態または動作を、

表示装置D 2上に仮想表示（シミュレーション表示）することができる。作業者は、そのシミュレーションにより、多関節マニピュレータ1の状態または動作を、表示装置D 2の画面上で予め確認することができる。作業者は、その画面上に表示された多関節マニピュレータ画像6を見て、ポインタ等のグラフィカルユーザインタフェースによって、画面上の手先5を所望の場所に移動し、更に手先5の姿勢を指定する。このような画面操作により、多関節マニピュレータ1の手先5の位置指令値及び姿勢指令値を設定することができる。

[0025] コンピュータD 1（または、コンピュータD 1及び表示装置D 2）により、多関節マニピュレータ1のシミュレーションを行うシミュレーション装置、多関節マニピュレータ1の制御用データ生成装置、及び多関節マニピュレータ1の制御装置が実現される。コンピュータD 1、表示装置D 2、及び多関節マニピュレータ1により、ロボットシステムが構成される。

[0026] 図5は、手先5の指令値を入力したときの関節J 1～J 6の制御における計算の一般的な流れを示す。多関節マニピュレータ1は、エンコーダなどによって、関節J 1～J 6の各々の現在の姿勢を示す関節角度 θ を検出することができる。コンピュータD 1は、多関節マニピュレータ1から、各関節J 1～J 6の関節角度 θ の検出値を取得する（A 0）。コンピュータD 1は、その関節角度 θ と、予め記憶したリンクパラメータ（各リンクの長さ等）に基づいて順運動学計算を行うことにより、ワールド座標系における現在の手先位置及び手先姿勢を計算する（A 1）。

[0027] 一方、作業者はコンピュータD 1を用い、表示装置D 2のシミュレーション画像を見ながら、手先5の最終的な目標位置及び目標姿勢を示す手先指令を入力する。コンピュータD 1は、多関節マニピュレータ1の手先5が現在位置および現在姿勢から最終目標位置および最終目標姿勢に到達するまでの位置の軌道データを生成する。なお、軌道データには、手先の位置の時間変化を示すデータと、手先の姿勢の時間変化を示すデータとが含まれていてもよい。この軌道データに基づいて、現在の手先5に対して、次の制御周期で

目標とすべき手先位置及び手先姿勢の指令値（手先指令値）が与えられる（A 8）。コンピュータ D 1 は、A 1 で算出された現在の手先位置及び手先姿勢に対する、手先位置及び手先姿勢の指令値の偏差 E（偏差 E は、位置偏差、および、姿勢偏差を含む）を計算する（A 2）。コンピュータ D 1 は更に、予め設定された位置姿勢制御用の比例ゲイン K P を偏差 E に掛ける（A 3）。

[0028] 各関節 J 1 ～ J 6 の現在の角度の検出値に基づいて、関節の角速度と直交座標系における手先速度との関係を示すヤコビ行列 [J] を計算する（A 4）。更に、そのヤコビ行列の逆行列 [J]⁻¹（多関節マニピュレータ 1 が冗長自由度を持っている場合は疑似逆行列）を計算する（A 5）。この逆ヤコビ行列 [J]⁻¹ を用いて、ゲインを掛けた位置姿勢偏差 K P ・ E から関節角速度の指令値を算出する（A 6）。

[0029] 関節角速度の指令値を時間積分することにより、各関節 J 1 ～ J 6 の角度の変化量の指令値が算出される。ブロック A 0 で入力された各関節 J 1 ～ J 6 の角度の現在値に、この角度の変化量の指令値を足すことにより、関節角度の指令値が得られる（A 7）。なお、図 5 の A 7 における「K」は、係数である。係数は、通常制御においては、例えば、K = 1 に設定される。コンピュータ D 1 は、関節角度の指令値を多関節マニピュレータ 1 に送信する。多関節マニピュレータ 1 の動作制御装置は、その指令値に基づいて、各関節 J 1 ～ J 6 のモータ等を制御する。以上の制御により、作業者が指定した目標位置及び目標姿勢を取るようにエンドエフェクタ 4 を動かすことが可能である。

[0030] 次に、本実施形態において関節 J 1 ～ J 6 の可動限界付近における制御について説明する。まず図 6 を参照して、本実施形態における制御の基本的な考えを説明する。図 6 は、或る関節について、可動範囲が制限されていないと仮定した場合の角度 θ の指令値の時間変化を示す。しかし実際には、この関節は、可動範囲が下限 L L 1 と上限 U L 1 との間の範囲に制限されているものとする。その内側に、仮想的なリミットを設定する。すなわち、下限 L

Ｌ１よりやや大きい値に仮想的な下限ＬＬ２を設定する。上限ＵＬ１よりやや小さい値に仮想的な上限ＵＬ２を設定する。このような仮想的な上限ＵＬ２、下限ＬＬ２は、各関節の特性に応じて、関節毎に設定される。

[0031] 関節の角度２１が仮想的な上限ＵＬ２と下限ＬＬ２の間の値を取っている領域では、実際の上限ＵＬ１、下限ＬＬ１まで余裕幅があるので、通常の順運動学・逆運動学の計算によって指令値を算出して制御を行う。

[0032] 図６の例では、時刻ｔ１において角度２１（指令値）が仮想的な下限ＬＬ２を下回り、時刻ｔ２において角度２１が実際の下限ＬＬ１を下回る。その後、時刻ｔ３において角度２１が実際の下限ＬＬ１を上回り、可動範囲に戻る。更に、時刻ｔ４において仮想的な下限ＬＬ２を上回り、安全域２２に入る。最終的に、時刻ｔ５において手先５が最終目標点に到達した段階では、角度２１は可動範囲の内側に入っている。

[0033] このような制御において、関節の角度２１が上限ＵＬ１又は下限ＬＬ１に近づいたときに、何らかの対処を取ることが望まれる。そのため、角度２１が仮想的な下限ＬＬ２を下回るか、又は仮想的な上限ＵＬ２を上回ったときに、障害回避制御が行われる。例えば図６では、時刻ｔ１において角度２１が仮想的な下限ＬＬ２を下回るので、通常制御（障害回避制御以外の制御である非障害回避制御）から障害回避制御への切り替えが行われる。

[0034] 図７は、障害回避制御における角度２１の変化の一例を示す。障害回避制御が開始される時刻ｔ１において、リミットに近づいた関節の角度指令値の変化速度を小さくする。このとき、その他の関節については通常制御が続行される。図７の時刻ｔ１以降の角度２１は、このような角度指令値による制御結果を示す。このような制御の結果、角度２１が下限ＬＬ１に接近するまでに時間の余裕が生じる。

[0035] 図７において、点線で示した角度２３は、時刻ｔ１以降においても通常制御を続行した場合の角度の変化を示す。この場合、時刻ｔ２において関節の角度２３が下限ＬＬ１に達して、多関節マニピュレータ１の動作が停止してしまう。しかしながら、障害回避制御を適用した場合、関節の角度の変化速

度が低下しているために、時刻 t_2 になってもまだ下限 L_{L1} に到達するまでには余裕幅がある。このような状態において、他の関節が回転することにより、多関節マニピュレータ 1 の姿勢が変化する。その結果、障害回避制御を行っている関節に対する角度指令値が変化するため、角度指令値がリミットに達することを回避できる可能性がある。図 7 の例では、障害回避制御を行っている期間に関節の角度 2_1 の変化が下限 L_{L1} から離れる方向に転じ、時刻 t_3 において仮想的な下限 L_{L2} を上回って安全域 2_2 に入る。この時刻 t_3 において、関節の制御が障害回避制御から通常の制御に戻される。

[0036] 以上のような障害回避制御について、以下により具体的に説明する。図 8 は、障害回避制御を行うためにコンピュータ D 1 によって実現される機能ブロックを示す。コンピュータ D 1 は、記憶部 11、角度指令値計算部 12、障害回避制御部 13、軌道データ生成部 14、シミュレーション部 15、障害関節表示部 16、及び軌道修正部 17 として機能する。これらの各機能ブロックは、コンピュータ D 1 の演算制御装置が非遷移的な記憶媒体に格納されたソフトウェア（プログラム）を読み出して実行することによって実現することができる。

[0037] すなわち、コンピュータ D 1（より具体的には、コンピュータの演算装置）は、上述のプログラムを実行することにより、後述の軌道データ生成処理、角度指令値算出処理、仮想リミット判定処理、シミュレーション処理、リミット判定処理、軌道修正処理、障害関節表示処理等を実現する。

[0038] 図 9 は、記憶部 11 が記憶する安全域テーブル 25 を示す。多関節マニピュレータ 1 が備える n 個の関節 J_1 、 J_2 、 $\dots$ J_n の各々について、可動範囲の上限と下限（実際のリミット）と、それより内側に設定された安全域 2_2 の上限と下限とが登録される。関節 J_1 、 J_2 、 $\dots$ J_n のうちの一部にのみ安全域 2_2 を登録して障害回避制御を適用してもよい。上限・下限ではなく右回転方向の限界角度と左回転方向の限界角度の対などによって可動範囲を登録してもよい。

[0039] [ステップ S 1：軌道データ入力]

図10は、障害回避制御のフローチャートである。軌道データ生成部14は、多関節マニピュレータ1の手先5の位置及び手先の姿勢の指令値を示す軌道データを生成する軌道データ生成処理を実行する。この軌道データは、多関節マニピュレータ1の手先を、現在手先位置から目標手先位置まで所定の軌道（例えば等速直線運動）に沿って移動させるために用いられる。このような軌道データは、例えば、多関節マニピュレータ1の制御周期毎の手先5の位置及び手先の姿勢の指令値として与えられる。コンピュータD1が多関節マニピュレータ1の制御を行うとき、このようにして生成された軌道データを入力する。

[0040] 図11に、本実施形態における制御で用いるデータを表したデータテーブル24を示す。このようなデータテーブル24を記憶部11に格納してもよい。データテーブル24において、手先指令値（少なくとも手先の位置を示す手先位置指令値、より一般的には手先の位置および手先の姿勢を示す手先位置指令値） $A_1 \sim A_n$ が、軌道データを示す。軌道データは、現在手先位置に近い第1番目の時刻 T_1 における手先指令値 A_1 から目標手先位置に近い第 n 番目の時刻 T_n における手先指令値 A_n までの一連の手先位置指令値 A_i （ i は1以上 n 以下の整数）からなる。各手先指令値 A_i は、位置を示す3つの値（ X 、 Y 、 Z と記す）と、姿勢を示す3つの値（ A 、 B 、 C と記し、オイラー角などにより表現できる三次元空間内の角度を示す）とを含む。

[0041] [ステップS2：手先の現在位置・姿勢の計算]

多関節マニピュレータ1の各関節 $J_1 \sim J_6$ には、その回転角度を検出するエンコーダ等の検出装置が取り付けられる。コンピュータD1は、各関節 $J_1 \sim J_6$ の回転角度の検出値を多関節マニピュレータ1からリアルタイムで（例えば10msのオーダーの周期で）読み込む。この角度の検出値が、データテーブル24に、複数の関節の各々の現在の角度を示す現在角度データ $C_1 \sim C_n$ として示されている。

[0042] 以下、ステップS4まで、角度指令値計算部12は、図5に示した方法に

よって、関節角度指令値を算出するための計算を実行する（換言すれば、角度指令値計算部 12 は、関節角度指令値を算出する角度指令値算出処理を実行する。）。まず、多関節マニピュレータ 1 から読み込まれた関節角度の検出値から、順運動学計算によって、多関節マニピュレータ 1 の手先 5 の現在位置が算出される。角度指令値計算部 12 は更に、手先 5 のリンク（図 4 ではエンドエフェクタ 4 を備えたリンク L 6）の現在姿勢を算出する。これらは図 5 の A 1 の処理に相当する。

[0043] [ステップ S 3 : 関節角速度指令値の算出]

ステップ S 1 で入力された軌道データ指令値と、ステップ S 2 で生成された手先 5 の位置・姿勢の現在値とに基づいて、図 5 の A 2 ~ A 5 の計算を行うことにより、各関節 J 1 ~ J 6 に対する回転の速度を示す角速度指令値 V_θ （単位はラジアン毎秒 $[rad/s]$ ）が算出される。これは図 5 の A 6 に相当する。

[0044] [ステップ S 4 : 関節角度指令値の算出]

複数の関節 J 1 ~ J 6 の各々の関節角速度指令値 V_θ に、図 5 の A 7 のように係数 K を掛けて時間積分することにより、次の制御周期における関節の角度の変化量の指令値 $\delta\theta$ $[rad]$ が算出される。ステップ S 2 で入力された各関節 J 1 ~ J 6 の角度の現在値に、角度の変化量の指令値 $\delta\theta$ を加えることにより、複数の関節の各々の角度指令値 θ $[rad]$ が生成される。この角度指令値 θ が、図 11 のデータテーブル 24 において、各時刻 T_i における角度指令値 B_i として示されている。通常制御（非障害回避制御）で使用される係数 K は、例えば $K = 1$ に設定される。

[0045] [ステップ S 5 : 関節角度指令値の仮想リミットをチェック]

障害回避制御部 13 は、各関節 J 1 ~ J 6 について、ステップ S 5 で算出された角度指令値が仮想リミットの範囲内（仮想の下限 LL_2 と仮想の上限 UL_2 との間の領域）に入っているか否かを判定する仮想リミット判定処理を実行する。この判定は、安全域テーブル 25 に登録された各関節 J 1 ~ J n の安全域の値を用いて行われる。又は他の方法として、安全域テーブル 2

5に登録された各関節J1～Jnの可動範囲の上限と下限を用い、各関節の角度指令値が、可動範囲のうちの上限又は下限に近い所定範囲（例えば、上限までの幅が可動範囲全体の幅の10パーセント以内である所定範囲、または、下限までの幅が可動範囲全体の幅の10パーセント以内である所定範囲）に入ったときに、仮想リミットの範囲内に入ったと判定してもよい。

[0046] [ステップS6：指令値による分岐処理]

すべての関節J1～J6について角度指令値が仮想リミット以内であった場合（ステップS6 Yes）、すべての関節J1～J6について通常制御（換言すれば、非障害回避制御）を行うために、処理はステップS8に移行する。複数の関節J1～J6のうちいずれかの関節に対応する角度指令値が仮想リミットを超えていた場合、仮想リミットを超えていた関節を停止する可能性のある停止候補関節であると判定する。その停止候補関節について障害回避制御を行うため、処理はステップS7に移行する。

[0047] [ステップS7：障害回避制御の積分係数設定]

ステップS6において角度指令値が仮想リミット外であると判定された関節に対して、障害回避制御が適用される。具体的には、ステップS4の計算で用いられた積分係数Kを小さくする。例えば、 $K=0.1$ に設定する。換言すれば、障害回避制御で使用する係数の値（例えば、 $K=0.1$ ）は、通常制御で使用する係数の値（例えば、 $K=1$ ）よりも小さい。他の関節については、通常制御が続けられる。このような設定により、ステップS4（図5のA7）で算出される関節の回転角度がリミットに近づく速度が遅くなり、図7の期間 $t_1 \sim t_3$ における角度 θ_1 のような制御を実現することができる。

[0048] [ステップS8：通常制御の積分係数設定]

ステップS5で関節角度指令値を生成する積分計算時に用いた係数Kとして、通常制御の値（例： $K=1$ ）に設定する。前回の制御周期までに通常制御を行っていた関節については、係数 $K=1$ は変化しない。前回の制御周期までに障害回避制御を行っていた関節については、ステップS7で今回新た

に角度指令値が仮想リミット内であると判定された場合、障害回避制御時の積分係数の値（例： $K = 0.1$ ）が通常制御時の値 $K = 1$ に戻される。

[0049] [ステップS 9：指令値をコントローラへ出力]

コンピュータD 1は、ステップS 4で算出された関節J 1～J 6の角度指令値を多関節マニピュレータ1に出力する。多関節マニピュレータ1のコントローラは、その角度指令値を用いて各関節J 1～J 6の角度を制御する。

[0050] [多関節マニピュレータの動作のシミュレーション]

次に、多関節マニピュレータ1の動作のシミュレーションについて説明する。上記の図10では、多関節マニピュレータ1の実機の動作中に関節がリミットに近づいた場合の制御について説明した。それに対して、実機の動作を伴わずに、関節がリミットに近づいた場合の多関節マニピュレータ1の動作をシミュレーションによって仮想的に実現することも可能である。

[0051] 図8のシミュレーション部15は、多関節マニピュレータ1の動作をシミュレーションによって仮想的に実現するシミュレーション処理を実行する。換言すれば、コンピュータD 1は、記憶媒体（記憶装置）に記憶されたプログラムを実行することにより、多関節マニピュレータ1の動作をシミュレーションによって仮想的に実現するシミュレーション装置として機能する。図12を参照して、シミュレーション部（シミュレーション装置）により実現されるシミュレーション処理について説明する。図5と比較して、以下の2点が異なっている。

（1）ブロックA 7で生成された関節の角度指令値 θ が各関節角度の現在値 θ としてフィードバックされるフィードバック処理FBが追加されている。

（2）図5のブロックA 0において多関節マニピュレータ1の実機から各関節J 1～J 6の角度の現在値を取得していた。その代わりに、図12のブロックA 9においては、時刻 T_i における関節の角度指令値 θ と手先指令値を用いてブロックA 7で算出された関節角度の指令値 θ が、次の時刻 $T_i + 1$ における各関節角度の現在値 θ として与えられる。

[0052] 図5と図12における計算の違いは、以下のような意味を有する。

(a) 図5では、時刻 T_i における計算により、ブロックA7において関節角度の指令値を生成し、その指令値によって多関節マニピュレータ1を制御した。その制御の結果として得られた各関節角度の検出値が、次の時刻 T_{i+1} における制御計算に用いられた。

(b) それに対して図12では、疑似的に θ 指令を更新して次の時刻における θ の現在値として用い、ヤコビ行列の収束計算を実施する。このような計算により、多関節マニピュレータ1の動作をコンピュータD1の内部で疑似的に実現する。

[0053] このようなシミュレーションは、図11のデータテーブル24を参照して、以下のように行うこともできる。シミュレーション部15は、手先指令値 A_1 から A_n までを順次用いて、多関節マニピュレータの動作の仮想的な実施を行う。シミュレーション部15は更に、角度指令値計算部において手先指令値 A_i に基づく計算結果として、時刻 T_i における複数の関節の各々の角度指令値 B_i を得る。その角度指令値 B_i を、次の時刻 T_{i+1} における複数の関節の各々の現在角度データ C_{i+1} として設定することにより、図12のフィードバック処理FBが行われる。

[0054] このようなシミュレーションにより、多関節マニピュレータ1の手先5が現在の位置姿勢から最終目標位置姿勢に到達するまでの動作を仮想的かつ近似的に実現することができる。そのため、その動作において各関節について可動範囲を外れる可能性があるか否かを確認することができる。

[0055] 図13は、コンピュータD1によって計算され表示装置D2に表示される多関節マニピュレータ画像6の一例を示す。実線は制御の開始位置、点線は制御の途中位置における多関節マニピュレータ画像6を示す。制御の開始位置において、手先5の位置および手先の姿勢が与えられる。更に、目標点32における手先の位置である最終目標位置及び目標点における手先の姿勢である最終目標姿勢が設定される。更に、開始位置と目標点32との間を繋ぐ軌道31が設定される。

[0056] コンピュータD1は、これらの設定と、リンクパラメータや各関節 $J_1 \sim$

J 4 の可動範囲などの多関節マニピュレータ 1 を定義する情報とを用いることにより、図 1 2 に示したシミュレーションを実行する。その結果、手先 5 が軌道 3 1 を目標点 3 2 まで移動するときの多関節マニピュレータ 1 の運動を仮想的に実現することができる。

[0057] このようなシミュレーションにおいて、関節が可動範囲のリミットに達したか否かの判定が行われる（換言すれば、シミュレーション部 1 5 は、複数の関節のうちの少なくとも 1 つが、可動範囲のリミットに達したか否かを判定するリミット判定処理を実行する）。図 8 の障害関節表示部 1 6 は、多関節マニピュレータ 1 のシミュレーション上の運動について、各関節 J 1 ~ J 4 が可動範囲に入っているか否かを判定する。可動範囲に入っている場合は、シミュレーションを続行する。いずれかの関節 J 1 ~ J 4 の角度指令値（図 1 1 の角度指令値 B i）が可動範囲を超えた場合は、障害関節が発生したと判定する。障害関節が発生した場合、シミュレーションを停止し、その時点 T i での多関節マニピュレータ画像 6 を表示する。図 1 3 における点線は、手先が停止点 3 3 に到達したときに、関節（例えば関節 J 2）が可動範囲を超えたため、シミュレーションが停止された状態での多関節マニピュレータ画像 6 を示す。

[0058] このようなシミュレーションにおいて、図 1 0 を用いて説明した障害回避処理を仮想的に実現することも可能である。

[0059] [軌道修正処理]

このようなシミュレーションにおいて、いずれかの関節 J 1 ~ J 4 の角度が可動範囲を超える場合、すべての関節 J 1 ~ J 4 の角度が可動範囲内に収まるように、軌道 3 1 を修正することが望まれる。図 1 4 は、多関節マニピュレータ 1 のシミュレーション方法と、その方法中で実行される軌道修正処理（軌道修正部 1 7 によって実行される軌道修正処理）のフローチャートである。

[0060] 図 1 0 のステップ S 1 と同様に、軌道データ生成部 1 4 は、軌道データを生成する軌道データ生成処理を実行する（ステップ S 2 1）。図 1 0 のステ

ップS 2～S 4と同様に、運動学計算により、各関節J 1～J 4の角度指令値が計算される（角度指令値算出処理が実行される。）。但し、図10の場合では実機から取得した関節角度の現在値を用いて角度指令値を計算したのに対し、図14の場合には、図12に示した方法により、疑似的に多関節マニピュレータ1の動作が実現され、多関節マニピュレータ画像6の動作として表示される（ステップS 22）。

[0061] シミュレーション部15は、各関節J 1～J 4について、ステップS 22で算出された角度指令値が可動範囲に入っているか否かを判定する（換言すれば、シミュレーション部15は、複数の関節のうちの少なくとも1つが、可動範囲のリミットに達したか否かを判定するリミット判定処理を実行する。）。この判定は、安全域テーブル25に登録された可動範囲の上限と下限の値を用いて行われる（ステップS 23）。

[0062] すべての関節J 1～J 4について角度指令値が可動範囲内であった場合（ステップS 24 Yes）、処理はステップS 27に移行する。関節J 1～J 4のいずれかについて、時刻T iにおける角度指令値B iが可動範囲を超えた場合、処理はステップS 25に移行する（ステップS 24 No）。

[0063] [ステップS 25：CG画面での停止]

関節J 1～J 4のいずれかの角度指令値B iが可動範囲を超えた場合、シミュレーションが停止され、その時点での多関節マニピュレータ画像6が表示される。図15は、関節J 3の角度指令値B iが上限を超えた場合の表示例を示す。障害関節表示部16は、角度がリミットに達した関節J 3について、分かりやすいように、画面上でその関節を指示する障害関節表示を行う（換言すれば、障害関節表示部16は、角度がリミットに達した関節を指示する障害関節表示処理を実行する。）。例えば、障害関節を他の関節と区別する表示（例えば違う色での表示）がなされる。更に、関節J 3の角度が可動範囲の一方側の端を超えたか他方側の端を超えたかを示す障害方向表示を行う。図15の例では、障害方向表示として、関節（例えば、関節J 3）の角度が下限に達した場合に下向き矢印で示す下限表示34が用いられ、関節

（例えば、関節 J 3）の角度が上限に達した場合に上向き矢印で示す上限表示 3 4 が用いられている。

[0064] [ステップ S 2 6 : 手先指令値の記憶]

次に、角度がリミットに達した関節 J 3 について、リミットから外れるように、すなわち可動範囲の中心側に向かうように手先指令値を修正して記憶する。具体的には、手先の軌道上に新たに経由点を設定することにより、関節 J 3 の角度が可動範囲に収まるようにする。図 1 6 は、そのような経由点設定処理（なお、経由点設定処理は、コンピュータ D 1 の軌道修正部 1 7 によって実行される。）のフローチャートである。まず、停止点 3 3 における手先位置が読み込まれる（ステップ S 3 1）。次に、関節 J 3 の角度が可動範囲の下限か上限かが判定される（ステップ S 3 2）。

[0065] 次に、図 1 7 に例示されるような手前点 3 5 を設定する。手前点 3 5 は、例えば、時刻 T_i における角度指令値 B_i によってシミュレーションが停止した場合、それよりも所定期間だけ以前の時刻 $T_i - k$ （ k は 1 以上の整数）における手先指令値 $A_i - k$ によって設定される（ステップ S 3 3）。

[0066] 次に、経由点 3 6 が設定される。経由点 3 6 は、修正を施す前の軌道 3 1 と比べて、停止点 3 3 でリミットに達した関節 J 3 がリミットから離れる方向（図 1 7 の離脱方向 3 7）となるように設定される。言い換えれば、関節 J 3 がその可動範囲の中心により近い角度となるように経由点が設定される。

[0067] 例えば、手先 5 が停止点 3 3 に位置する時点で関節 J 3 の角度が上限に達してした場合、他の全ての関節 J 1、J 2、J 4 を固定して（例えば、停止点 3 3 の位置での関節 J 1、J 2、J 4 の角度に固定して）、関節 J 3 の角度を所定の角度 $\Delta\theta$ だけ小さい値にしたときの手先 5 の位置が、経由点 3 6 として設定される（ステップ S 3 4）。手前点 3 5 と経由点 3 6 とを直線などの軌道 3 8 で繋ぎ、経由点 3 6 と目標点 3 2 とを直線などの軌道 3 9 で繋ぐことにより、修正された軌道が生成される。このような経由点 3 6 の設定（ステップ S 3 5）は、軌道修正部 1 7 が自動的に行ってもよいし、少なく

とも一部の処理を作業者による入力操作によって行ってもよい（例えば、経由点 3 6 の設定処理を作業者による入力操作により実施してもよい。）。

[0068] 軌道修正部 1 7 は、修正された軌道 3 8、3 9 の手先指令値を記憶する（図 1 4 のステップ S 2 6）。以上の軌道修正処理は、いずれかの関節 J 1 ～ J 4 がリミットに達する度に実行される。そのため、2 以上の経由点 3 6 が設定されることもある。

[0069] 修正された軌道が生成されると、ステップ S 2 1 からの処理が繰り返される。但し、以後の計算は、手前点 3 5 の時点の軌道 3 1 まで戻って、修正された軌道を用いて実行される。

[0070] 図 1 4 に戻って、ステップ S 2 4 において全ての関節 J 1 ～ J 4 の角度指令値が可動範囲内であった場合（ステップ S 2 4 Y e s）、手先 5 が目標点 3 2（最終手先目標値）に到達したか否かを判定される（ステップ S 2 7）。手先 5 が目標点 3 2 に到達していない場合は、ステップ S 2 1 からの処理が繰り返される（ステップ S 2 7 N o）。手先 5 が目標点 3 2 に到達した場合（ステップ S 2 7 Y e s）、処理はステップ S 2 8 に移行する。

[0071] ステップ S 2 6 で軌道修正が行われた場合、経由点 3 6 を通る軌道（図 1 7 の例では手前点 3 5 までは軌道 3 1、手前点 3 5 以降では修正された軌道 3 8、3 9）を連結することにより、修正された軌道を描く手先指令値が生成される（ステップ S 2 8）。

[0072] コンピュータ D 1 は、この手先指令値を多関節マニピュレータ 1（現実に存在する多関節マニピュレータ）に実動作指令として送信する（ステップ S 2 9）。シミュレーション上、関節 J 1 ～ J 4 が可動範囲を超えないように手先指令値が修正されているため、実機でも動作が停止せずに手先 5 が目標点 3 2 まで到達できる見込みが高い。

[0073] 図 1 4 を用いて説明した軌道修正処理において、図 1 0 を用いて説明した障害回避処理を適用することもできる。その場合、ステップ S 2 3 において関節角度指令値が可動範囲内か否かを判定する前に、ステップ S 5、S 6 における関節角度指令値が仮想リミット以内か否かの判定が行われる。関節角

度指令値が仮想リミットを超えていた場合、ステップS 7における障害回避処理が実行される。その後、ステップS 2 3以降の処理が行われる。

[0074] このような処理により、いずれかの関節の角度が仮想リミットに近づいた場合には、まず障害回避処理が実行される。それでもその関節が実際のリミットに到達した場合にのみ、ステップS 2 6での軌道修正処理が行われる。そのため、軌道修正処理が少なくなり、当初の軌道に近い自然な経路で手先5を目標点3 2に導くことができる。

[0075] 本発明は上記各実施の形態に限定されず、本発明の技術思想の範囲内において、各実施の形態は適宜変形又は変更され得ることは明らかである。また、各実施形態又は変形例で用いられる種々の技術は、技術的矛盾が生じない限り、他の実施形態又は変形例にも適用可能である。

[0076] 本出願は、2014年3月14日に出願された日本国特許出願第2014-52546号を基礎とする優先権を主張し、当該基礎出願の開示の全てを引用により本出願に取り込む。

請求の範囲

[請求項1] 複数の関節を備える多関節マニピュレータのシミュレーション装置であって、

前記複数の関節の各々について、角度の可動範囲と、前記可動範囲の内側に定義される安全域とを記憶装置に記憶する記憶部と、

角度指令値計算部としての演算装置と

を具備し、

前記角度指令計算部は、前記複数の関節の各々の現在の角度を示す現在角度データと、前記多関節マニピュレータの手先位置指令値とに基づいて、前記複数の関節の各々の角度指令値を生成し、

前記角度指令値計算部は、前記複数の関節のいずれかの内、前記角度指令値が前記安全域を超えた関節である停止候補関節が発生したとき、前記停止候補関節の前記角度指令値を生成する際に、前記角度指令値の変化速度を小さくする障害回避制御を行う

シミュレーション装置。

[請求項2] 請求項1に記載されたシミュレーション装置であって、

前記角度指令値計算部は、前記複数の関節の各々の角速度の指令値に係数を掛けて時間積分することによって前記角度指令値を生成し、

前記障害回避制御で使用する前記係数の値は、前記障害回避制御以外の制御において使用する前記係数の値よりも小さい

シミュレーション装置。

[請求項3] 請求項1又は2に記載されたシミュレーション装置であって、

更に、前記多関節マニピュレータの手先を、現在手先位置から目標手先位置まで所定の軌道に沿って移動させるための軌道データであって、前記現在手先位置に近い第1番目の時刻 T_1 における手先位置指令値 A_1 から前記目標手先位置に近い第 n 番目の時刻 T_n における手先位置指令値 A_n までの一連の手先位置指令値 A_i (i は1以上 n 以下の整数) からなる軌道データを生成する軌道データ生成部と、

前記手先位置指令値 A_1 から A_n までを順次用いて、前記多関節マニピュレータの動作の仮想的な実現を行うシミュレーション部とを具備し、

前記シミュレーション部は、

前記角度指令値計算部において前記手先位置指令値 A_i に基づく計算結果として、時刻 T_i における前記複数の関節の各々の角度指令値 B_i を得、

前記角度指令値 B_i を、次の時刻 T_{i+1} における前記複数の関節の各々の前記現在角度データ C_{i+1} として設定する

シミュレーション装置。

[請求項4]

請求項3に記載されたシミュレーション装置であって、

更に、前記仮想的な実現において、前記角度指令値 B_i が前記可動範囲を超えた関節である障害関節が発生したとき、時刻 T_i における前記多関節マニピュレータを示すシミュレーション画像を表示し、且つ、前記シミュレーション画像において前記障害関節を指示する障害関節表示を行う障害関節表示部

を具備するシミュレーション装置。

[請求項5]

請求項4に記載されたシミュレーション装置であって、

前記可動範囲は、一方側の端と他方側の端とによって定義され、

前記障害関節表示部は更に、前記障害関節が、前記一方側の端と前記他方側の端とのうちのいずれを超えたかを示す障害方向表示を行う

シミュレーション装置。

[請求項6]

請求項3乃至5のいずれか一項に記載されたシミュレーション装置であって、

更に、前記角度指令値 B_i が前記可動範囲を超えたとき前記軌道データに修正を施す軌道修正部を具備し、

前記修正において、時刻 T_i よりも以前の時刻 T_{i-k} (k は1以上の整数) における前記手先位置指令値 A_{i-k} が、前記修正を施す

前と比べて前記複数の関節のうち前記可動範囲を超えた関節の角度が前記可動範囲の中心側により近い角度となるように修正される

シミュレーション装置。

[請求項7] 請求項1乃至6のいずれか一項に記載されたシミュレーション装置によって生成された前記角度指令値によって現実存在する前記多関節マニピュレータを制御する制御装置。

[請求項8] 請求項7に記載された制御装置と、前記多関節マニピュレータとを具備するロボットシステム。

[請求項9] 複数の関節を備える多関節マニピュレータのシミュレーション方法であって、

前記複数の関節の各々について、角度の可動範囲と、前記可動範囲の内側に定義される安全域とを記憶装置に記憶する工程と、

演算装置が、前記複数の関節の各々の現在の角度を示す現在角度データと、前記多関節マニピュレータの手先位置指令値とに基づいて、前記複数の関節の各々の角度指令値を生成する工程とを具備し、

前記角度指令値を生成する工程において、前記複数の関節のいずれかの内、前記角度指令値が前記安全域を超えた関節である停止候補関節が発生したとき、前記停止候補関節の前記角度指令値を生成する際に、前記角度指令値の変化速度を小さくする障害回避制御を行う

シミュレーション方法。

[請求項10] 請求項9に記載されたシミュレーション方法であって、

前記角度指令値を生成する工程において、前記複数の関節の各々の角速度の指令値に係数を掛けて時間積分することによって前記角度指令値を生成し、

前記障害回避制御において使用する前記係数の値は、前記障害回避制御以外の制御において使用する前記係数の値より小さい

シミュレーション方法。

[請求項11] 請求項9又は10に記載されたシミュレーション方法であって、

更に、前記多関節マニピュレータの手先を、現在手先位置から目標手先位置まで所定の軌道に沿って移動させるための軌道データであって、前記現在手先位置に近い第1番目の時刻 T_1 における手先位置指令値 A_1 から前記目標手先位置に近い第 n 番目の時刻 T_n における手先位置指令値 A_n までの一連の手先位置指令値 A_i (i は1以上 n 以下の整数) からなる軌道データを生成する工程と、

前記手先位置指令値 A_1 から A_n までを順次用いて、前記多関節マニピュレータの動作の仮想的な実現を行う工程とを具備し、

前記仮想的な実現を行う工程は、

前記角度指令値を計算する工程において前記手先位置指令値 A_i に基づく計算結果として、時刻 T_i における前記複数の関節の各々の角度指令値 B_i を得る工程と、

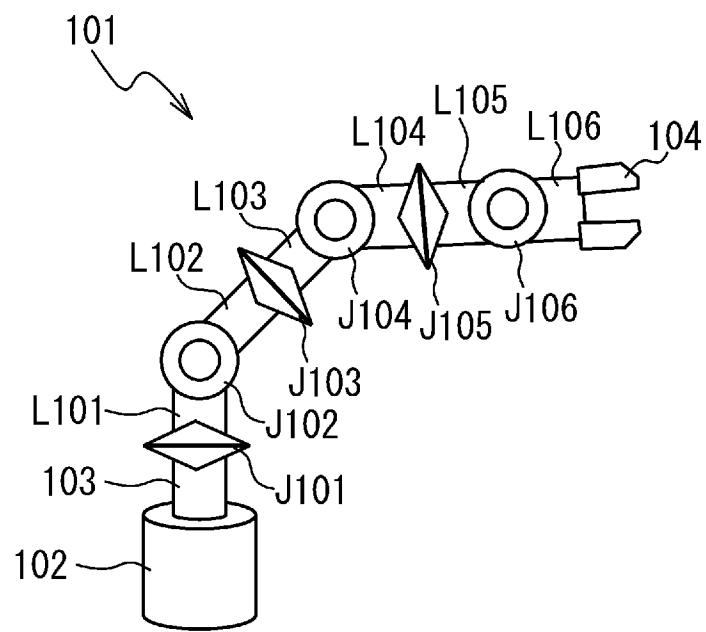
前記角度指令値 B_i を、次の時刻 T_{i+1} における前記複数の関節の各々の前記現在角度データ C_{i+1} として設定する工程とを具備する

シミュレーション方法。

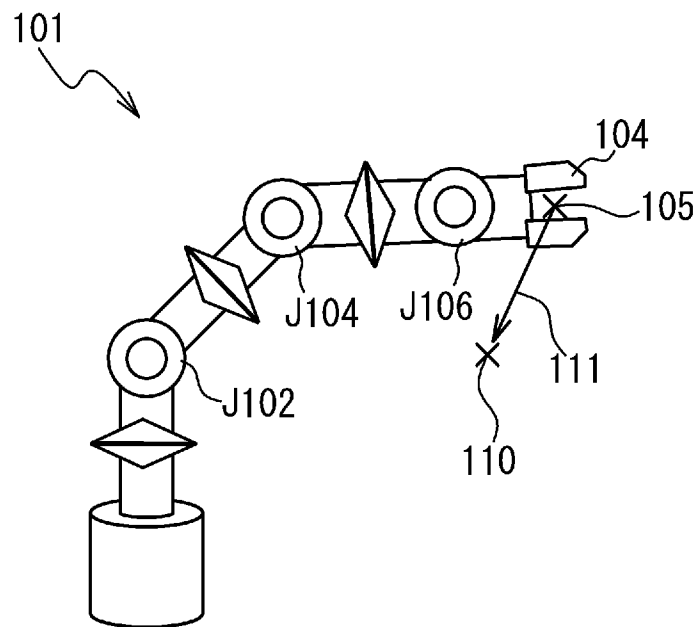
[請求項12] 請求項9乃至11のいずれか一項に記載されたシミュレーション方法で生成された前記角度指令値によって現実に存在する前記多関節マニピュレータを制御する制御方法。

[請求項13] 請求項9乃至11のいずれかに記載されたシミュレーション方法をコンピュータに実行させるプログラム。

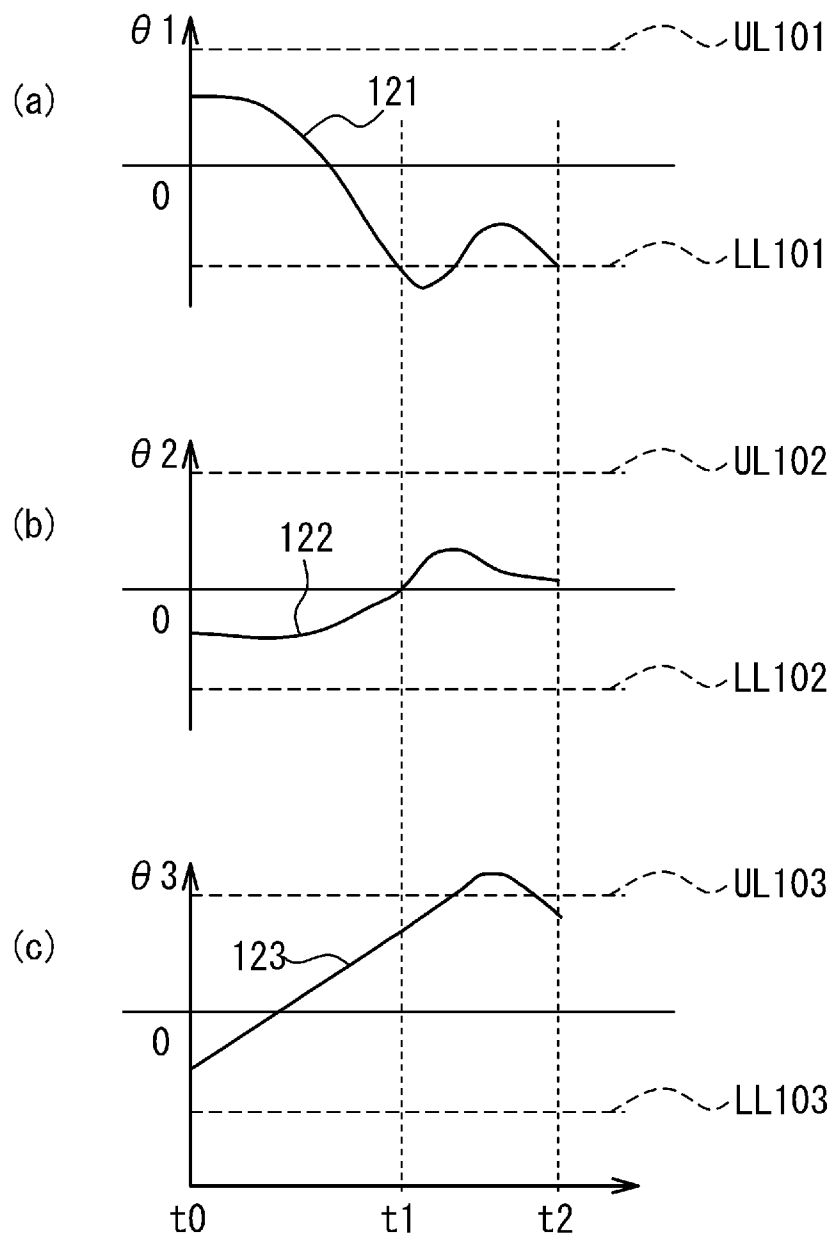
[図1]



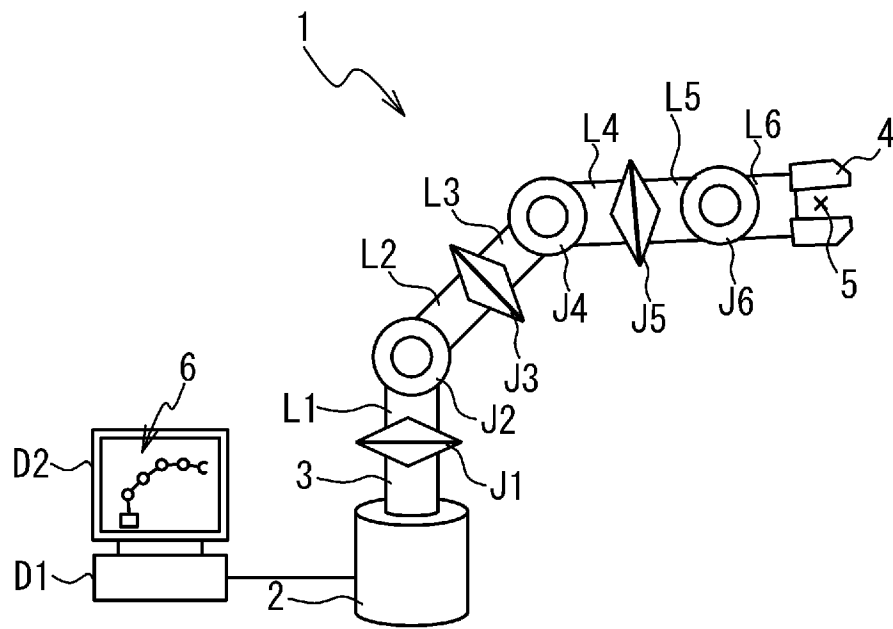
[図2]



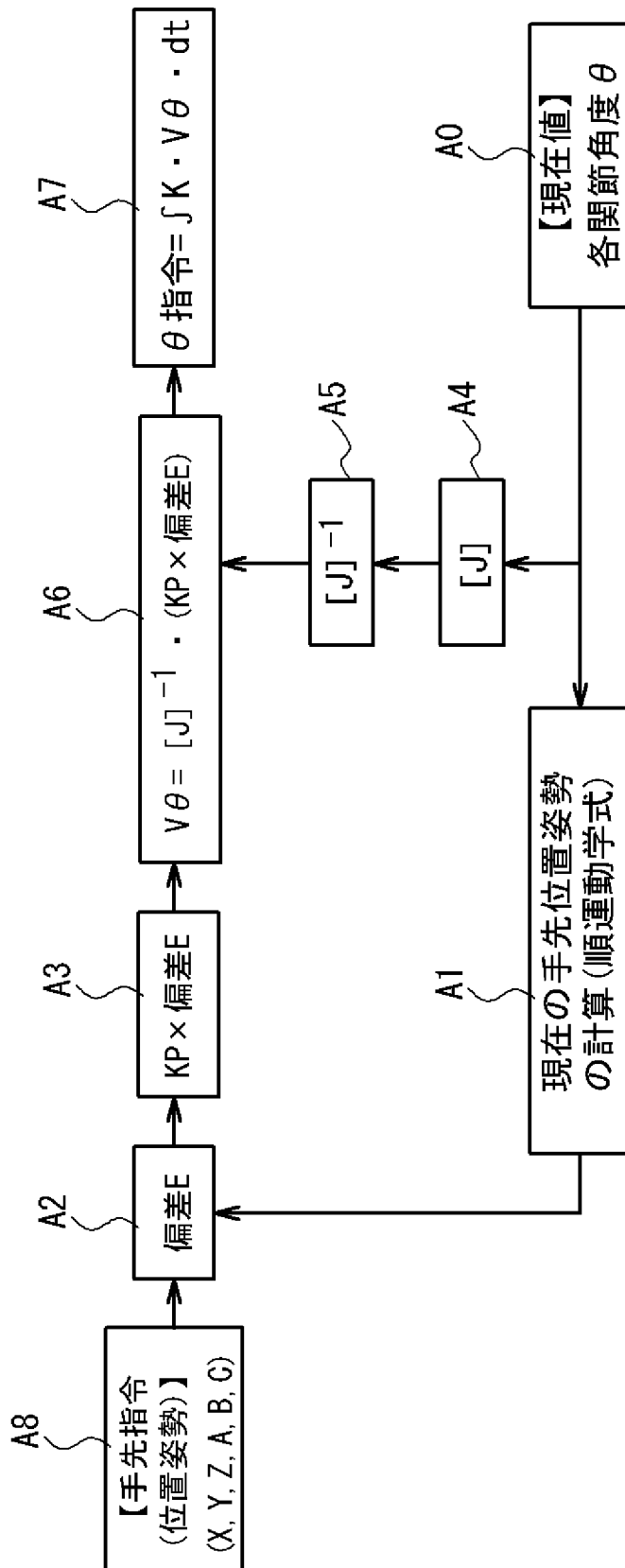
[図3]



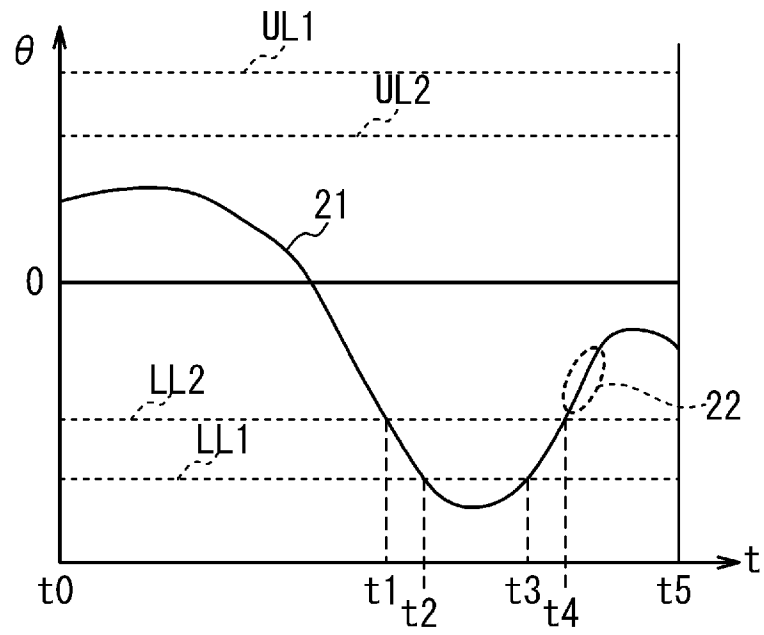
[図4]



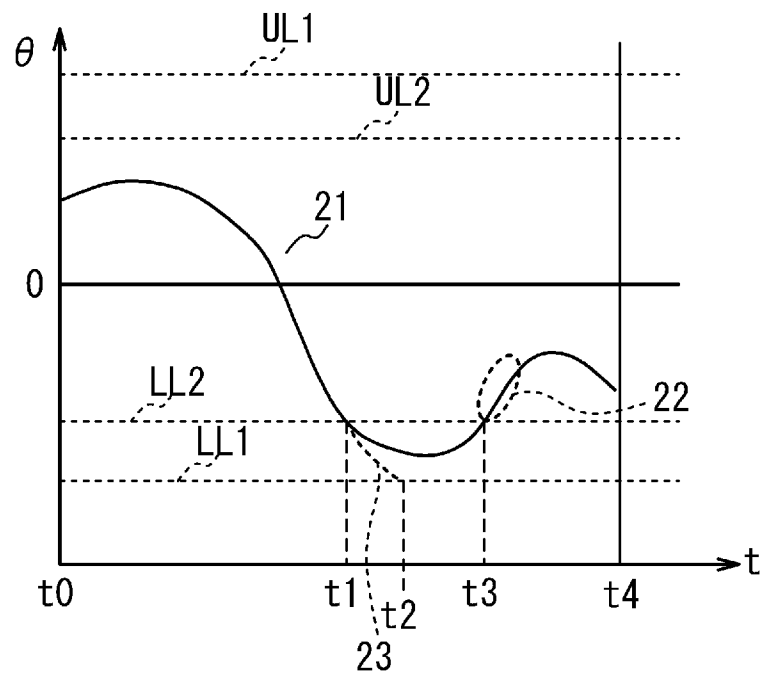
[図5]



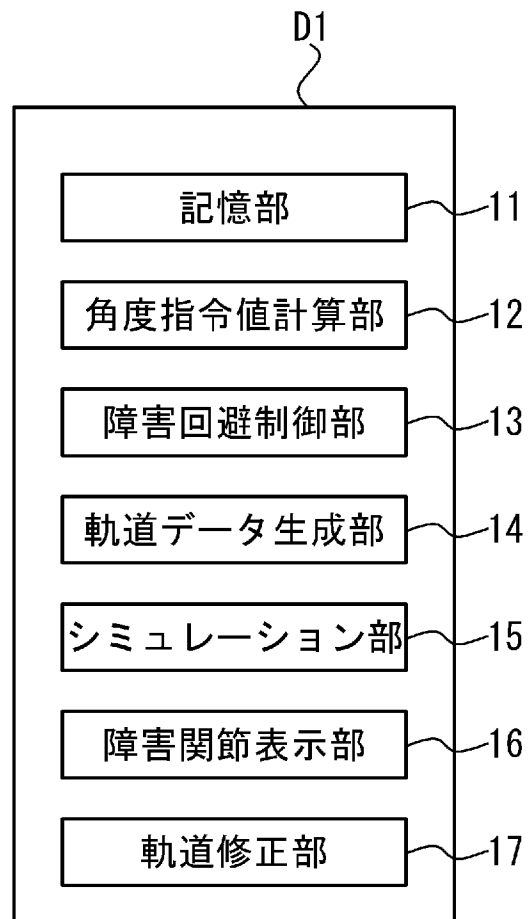
[図6]



[図7]



[図8]

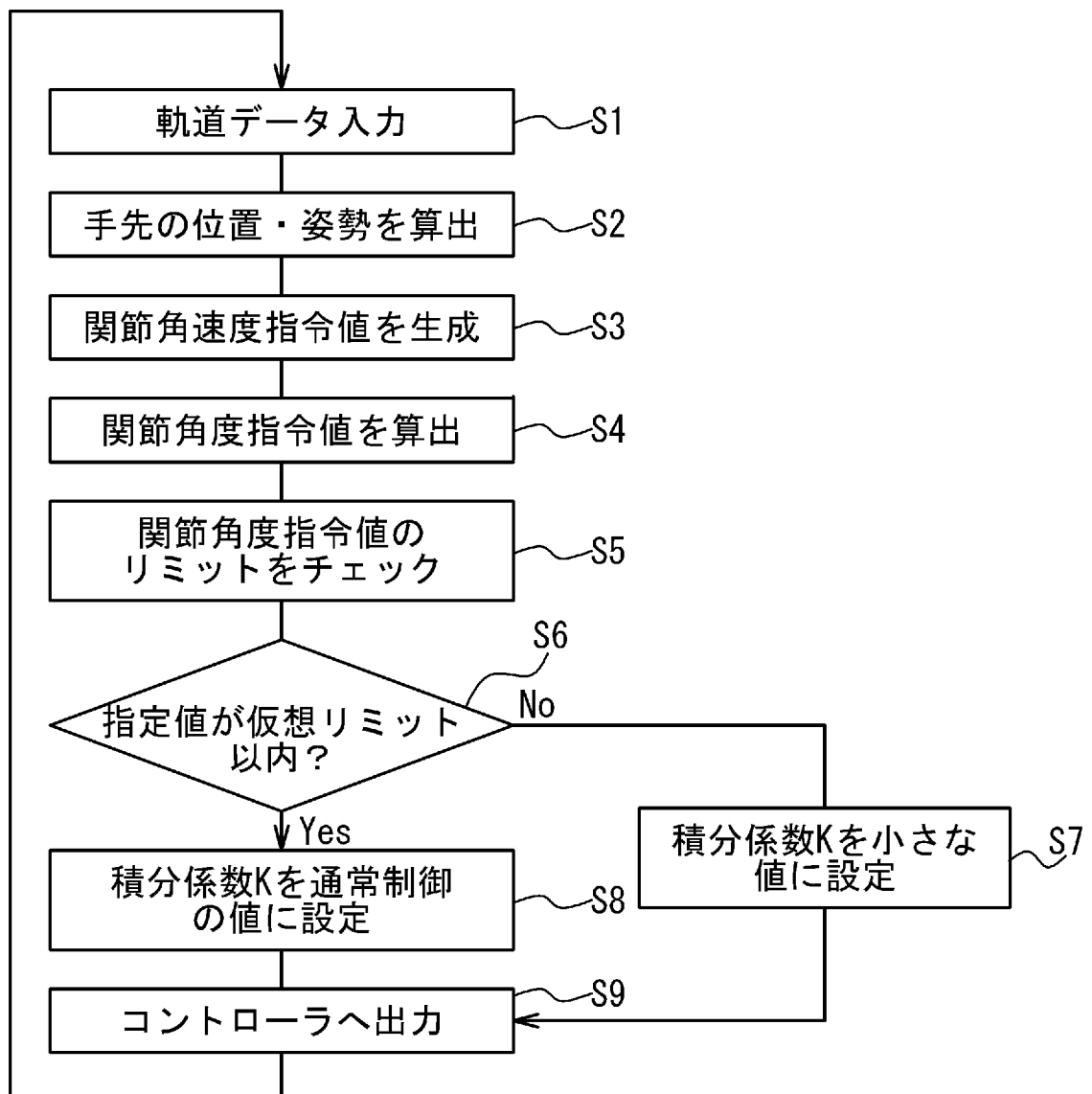


[図9]

25

関節		J1	J2	...	Jn
可動範囲	上				
	下				
安全域	上				
	下				

[図10]

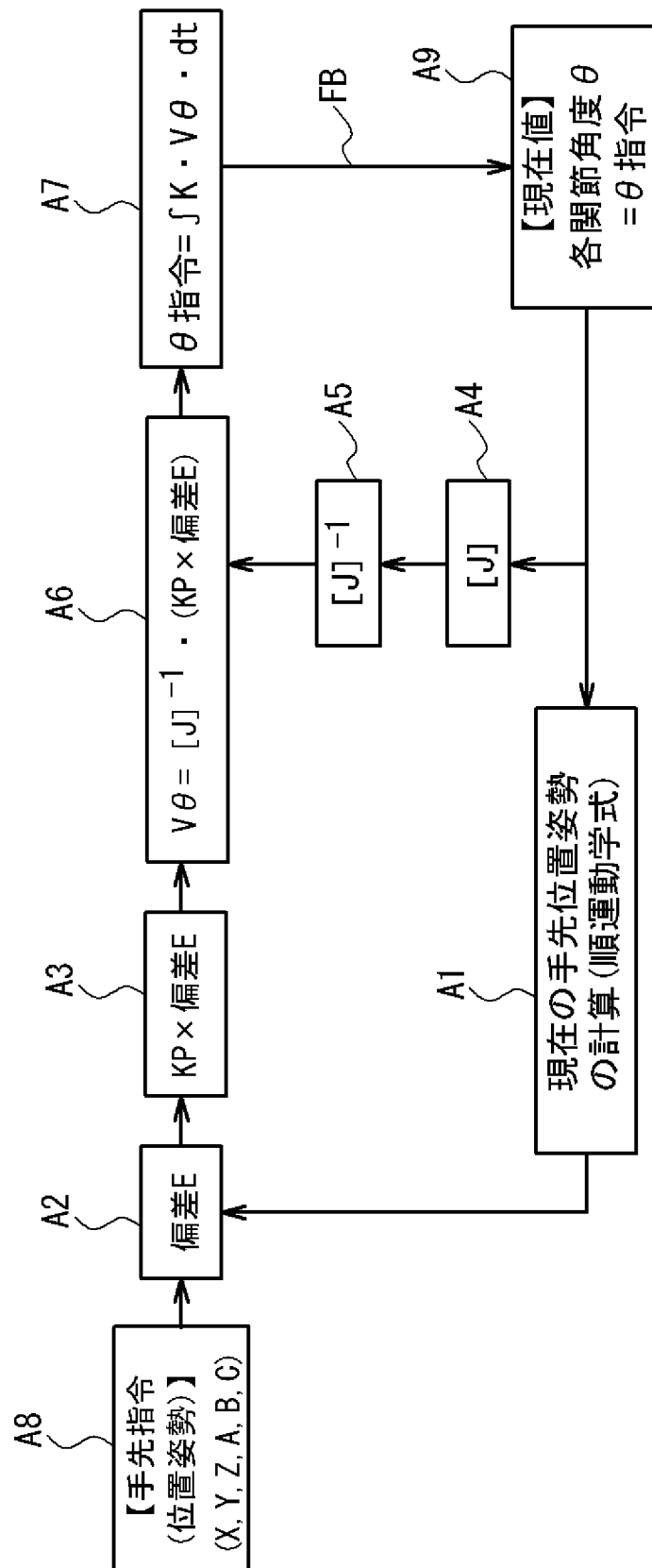


[図11]

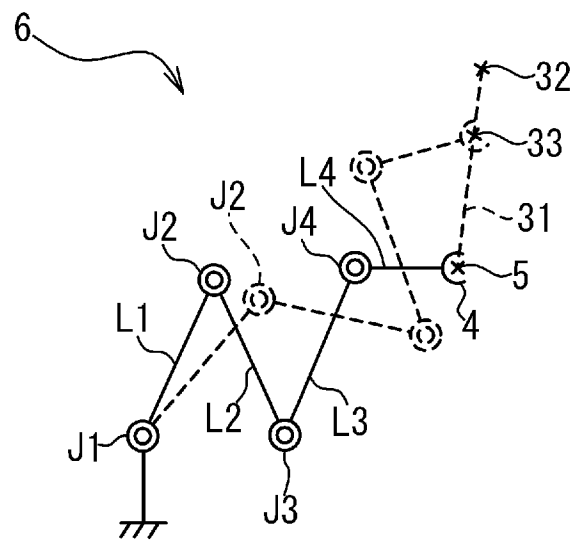
24


時刻T	T_1	T_2	...	T_i	T_{i+1}	...	T_n
手先指令値A	A_1	A_2	...	A_i	A_{i+1}	...	A_n
角度指令値B	B_1	B_2	...	B_i	B_{i+1}	...	B_n
現在角度データC	C_1	C_2	...	C_i	C_{i+1}	...	C_n

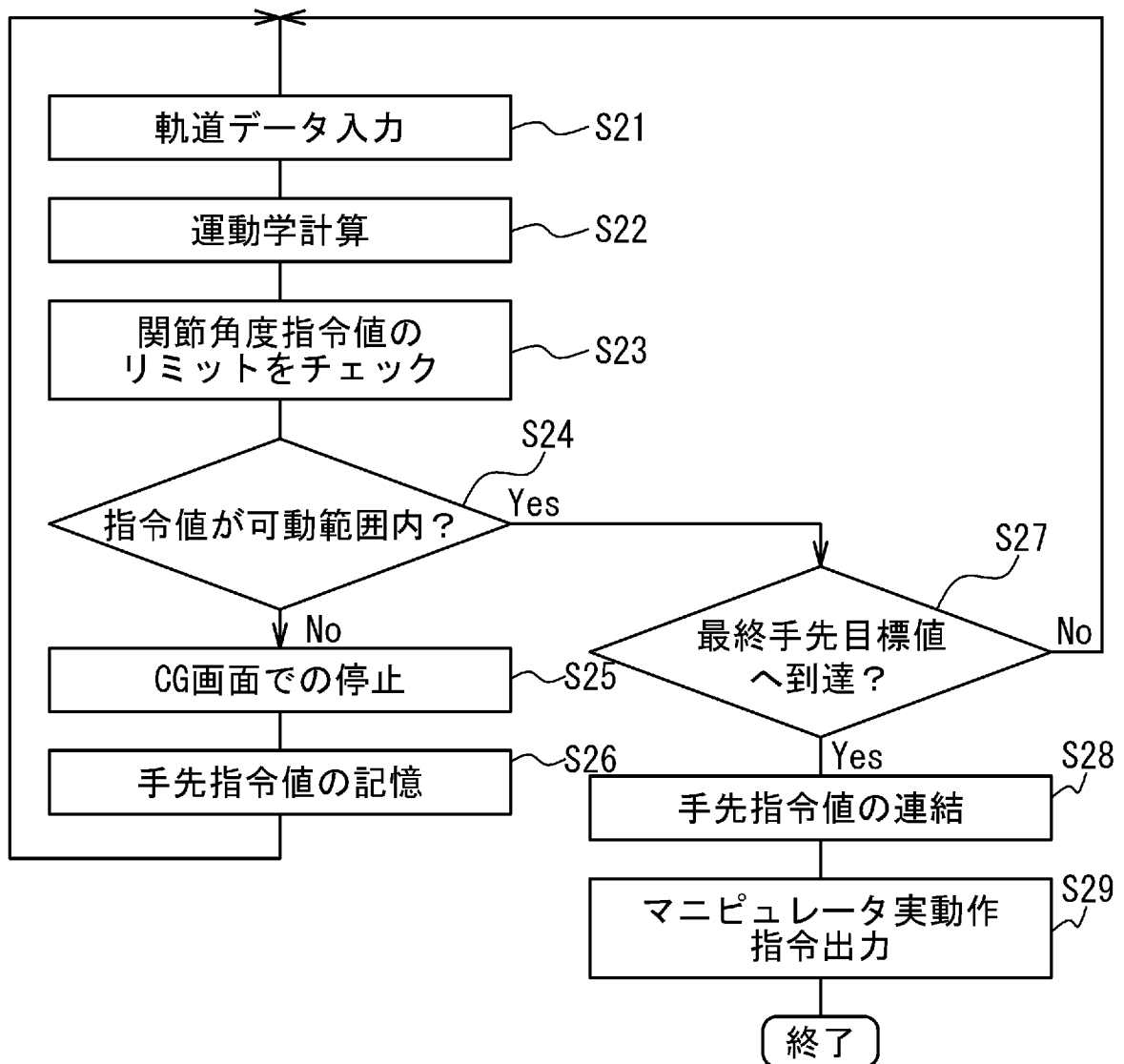
[図12]



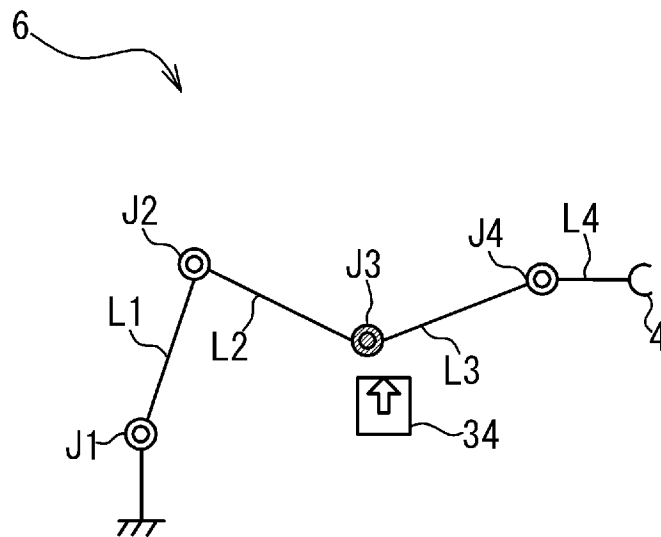
[図13]



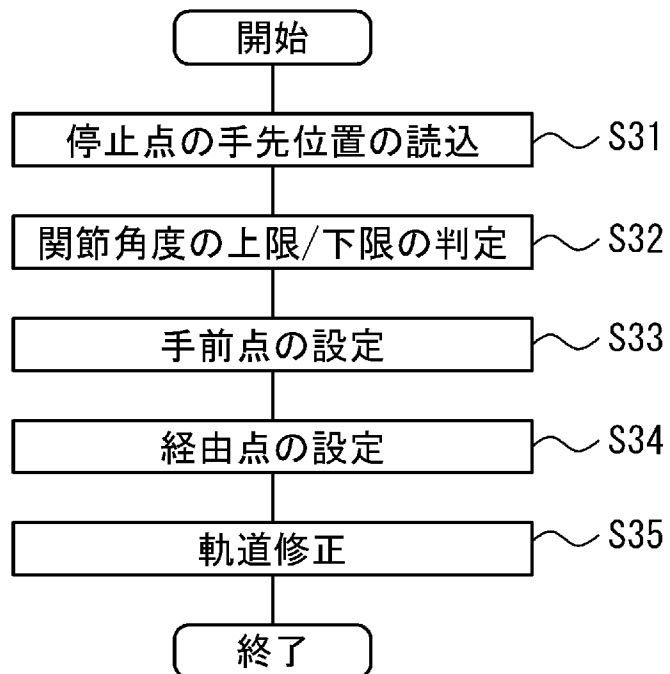
[図14]



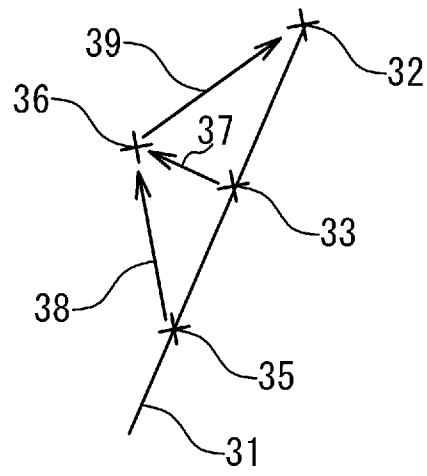
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/055929

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J9/22(2006.01)i, B25J13/00(2006.01)i, B25J19/06(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B25J9/22, B25J13/00, B25J19/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	WO 2013/038544 A1 (Yaskawa Electric Corp.), 21 March 2013 (21.03.2013), paragraphs [0013] to [0015], [0021] to [0022], [0040] to [0043], [0113]; fig. 1 & US 2014/195054 A1 & EP 2774729 A1 & CN 103781602 A	1-4, 7-13 5 6
Y A	JP 2012-192518 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 11 October 2012 (11.10.2012), paragraph [0207] (Family: none)	5 1-4, 6-13
A	JP 2014-18912 A (Seiko Epson Corp.), 03 February 2014 (03.02.2014), entire text; all drawings (Family: none)	1-13

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
21 May 2015 (21.05.15)

Date of mailing of the international search report
02 June 2015 (02.06.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/055929

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-203380 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 16 August 2007 (16.08.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-13

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. B25J9/22(2006.01)i, B25J13/00(2006.01)i, B25J19/06(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. B25J9/22, B25J13/00, B25J19/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	WO 2013/038544 A1（株式会社安川電機）2013.03.21, [0013] - [0015], [0021] - [0022], [0040] - [0043], [0113], 第1図 & US 2014/195054 A1 & EP 2774729 A1 & CN 103781602 A	1-4, 7-13 5 6
Y A	JP 2012-192518 A（川崎重工業株式会社）2012.10.11, [0207]（ファミリーなし）	5 1-4, 6-13
A	JP 2014-18912 A（セイコーエプソン株式会社）2014.02.03, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-13

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 1 . 0 5 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 2 . 0 6 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

鈴木 崇文

3 U

4 8 5 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 6 4

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2007-203380 A (川崎重工業株式会社) 2007. 08. 16, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-13