

(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
2013 年 12 月 12 日(12.12.2013)



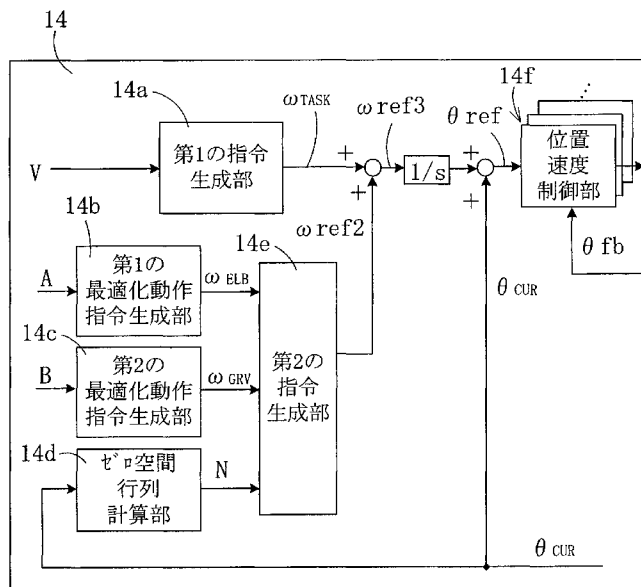
(10) 国際公開番号
WO 2013/183190 A1

- (51) 国際特許分類:
B25J 13/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/083299
- (22) 国際出願日: 2012 年 12 月 21 日(21.12.2012)
- (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:
PCT/JP2012/064391 2012 年 6 月 4 日(04.06.2012) JP
- (71) 出願人: 株式会社安川電機(KABUSHIKI KAISHA YASKAWA DENKI) [JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者: 神谷 陽介(KAMIYA Yosuke); 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 安田 賢一(YASUDA Ken'ichi); 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 安藤 慎悟(ANDO Shingo); 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP).
- (74) 代理人: 中前 富士男, 外(NAKAMAE Fujio et al.); 〒8028691 福岡県北九州市小倉北区浅野 2 丁目 1 3 番 2 3 号 幹線ビル 4 0 1 号 中前国際特許商標事務所 Fukuoka (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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

[続葉有]

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

(54) 発明の名称: ロボットシステム、ロボット制御装置、及びロボットシステムの制御方法



(57) Abstract: Provided are a robot system (10), a robot control device (14), and a robot system (10) control method capable of automatically generating teaching positions and movement tracks that reduce the energy consumed by a redundant robot. The robot system (10) is provided with a robot (12) having multiple joint axes that include a redundant axis and a robot control device (14). The robot control device (14) comprises: a first command-generating unit (14a) for generating an angular velocity command for a first joint of the robot (12) to reduce movement energy; a first optimized action command-generating unit (14b) that generates a joint angular velocity command (A) for the robot (12) to perform an arm-lowering movement; a zero space matrix-calculating unit (14d) for calculating a zero space matrix of a Jacobi matrix relating to a control point; a second command-generating unit (14e) for generating an angular velocity command for a second joint of the robot (12) on the basis of the joint angular velocity command (A) and the zero space matrix; and a control unit (14f) for controlling the servo motors.

(57) 要約:

[続葉有]

- 14a First command-generating unit
14b First optimized action command-generating unit
14c Second optimized action command-generating unit
14d Zero space matrix-calculating unit
14e Second command-generating unit
14f Position/velocity-controlling unit

WO 2013/183190 A1



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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロ
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, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

冗長ロボットの消費エネルギーを低減する教示位置及び動作軌道を自動で生成できるロボットシステム (10)、ロボット制御装置 (14)、及びロボットシステム (10) の制御方法を提供する。ロボットシステム (10) は、冗長軸を含む複数の関節軸を有するロボット (12) と、ロボット制御装置 (14) とを備え、ロボット制御装置 (14) は、運動エネルギーを低減するためのロボット (12) の第 1 の関節角速度指令を生成する第 1 の指令生成部 (14 a) と、ロボット (12) が腕下げ動作をするための関節角速度指令 A を生成する第 1 の最適化動作指令生成部 (14 b) と、制御点に関するヤコビ行列のゼロ空間行列を計算するゼロ空間行列計算部 (14 d) と、関節角速度指令 A 及びゼロ空間行列に基づいて、ロボット (12) の第 2 の関節角速度指令を生成する第 2 の指令生成部 (14 e) と、サーボモータを制御する制御部 (14 f) と、を有する。

明 細 書

発明の名称：

ロボットシステム、ロボット制御装置、及びロボットシステムの制御方法
技術分野

[0001] 本発明は、ロボットシステム、ロボット制御装置、及びロボットシステムの制御方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、ロボットによる作業を実施する際に、ロボットの動作に必要な電力を低減することができるロボットの制御装置が記載されている。

このロボットの制御装置は、ロボットを動作させるための動作データを生成する動作指令生成部と、その動作データにより動作に必要なエネルギー量を算出するエネルギー算出手段と、その算出したエネルギー量よりも減少させることが可能となるロボットの位置指令を生成する第1の経路生成手段と、動作指令生成部より出力される動作データに基づいてロボットの位置指令を生成する第2の経路生成手段と、第1の経路生成手段と第2の経路生成手段からの入力を切り替えて制御手段に位置指令を出力する制御方式切替手段とを備えている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2000-354988号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ここで、ロボットが冗長ロボット（例えば7軸の産業用ロボット）である場合には、ロボットは手先の運動に対して冗長性を有する。そのため、消費エネルギーを低減する観点から教示位置が最適であるか否かを判断することが困難である。

本発明は、冗長ロボットの消費エネルギーを低減する教示位置及び動作軌

道を自動で生成できるロボットシステム、ロボット制御装置、及びロボットシステムの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

[0005] 上記課題を解決するため、本発明の一の観点によれば、複数のリンクを連結する、冗長軸を含む複数の関節軸を有し、前記複数の関節軸がサーボモータによって駆動されるロボットと、

前記ロボットを制御するロボット制御装置とを備え、

前記ロボット制御装置は、入力された前記ロボットの制御点の速度指令に基づいて、運動エネルギーを低減するための前記ロボットの第1の関節角速度指令を生成する第1の指令生成部と、

前記ロボットが腕下げ動作をするための関節角速度指令Aを生成する第1の最適化動作指令生成部と、

前記制御点に関するヤコビ行列のゼロ空間行列を計算するゼロ空間行列計算部と、

前記第1の最適化動作指令生成部が生成した前記関節角速度指令A及び前記ゼロ空間行列に基づいて、前記ロボットの第2の関節角速度指令を生成する第2の指令生成部と、

前記第1及び第2の関節角速度指令の和である第3の関節角速度指令に基づいて、前記サーボモータを制御する制御部と、を有するロボットシステムが適用される。

[0006] また、他の観点によれば、冗長軸を含む複数の関節軸を有し、前記複数の関節軸がサーボモータによって駆動されるロボットと、

前記ロボットを制御するロボット制御装置とを備え、

前記ロボット制御装置は、入力された前記ロボットの制御点の速度指令に基づいて、運動エネルギーを低減するための前記ロボットの第1の関節角速度指令を生成する第1の指令生成部と、

前記ロボットの姿勢保持トルクを抑制するための関節角速度指令を生成する最適化動作指令生成部と、

前記制御点に関するヤコビ行列のゼロ空間行列を計算するゼロ空間行列計算部と、

前記最適化動作指令生成部が生成した前記関節角速度指令及び前記ゼロ空間行列に基づいて、前記ロボットの第2の関節角速度指令を生成する第2の指令生成部と、

前記第1及び第2の関節角速度指令の和である第3の関節角速度指令に基づいて、前記サーボモータを制御する制御部とを有するロボットシステムが適用される。

[0007] また、他の観点によれば、冗長軸を含む複数の関節軸を有するロボットの制御点の速度指令に基づいて、運動エネルギーを低減するための前記ロボットの第1の関節角速度指令を生成する第1の指令生成部と、

前記ロボットが腕下げ動作をするための関節角速度指令Aを生成する第1の最適化動作指令生成部と、

前記制御点に関するヤコビ行列のゼロ空間行列を計算するゼロ空間行列計算部と、

前記関節角速度指令A及び前記ゼロ空間行列に基づいて、前記ロボットの第2の関節角速度指令を生成する第2の指令生成部と、

前記第1及び第2の関節角速度指令の和である第3の関節角速度指令に基づいて、サーボモータを制御する制御部とを有するロボット制御装置が適用される。

[0008] また、他の観点によれば、冗長軸を含む複数の関節軸を有するロボットの制御点の速度指令に基づいて、運動エネルギーを低減するための前記ロボットの第1の関節角速度指令を生成するステップSA1と、

前記ロボットが、前記冗長軸の張り出しを、前記制御点の位置姿勢を維持したまま、冗長自由度を利用して抑える腕下げ動作を実行するための関節角速度指令Aを生成するステップSA2と、

前記制御点に関するヤコビ行列のゼロ空間行列を計算するステップSA3と、

前記関節角速度指令 A 及び前記ゼロ空間行列に基づいて、前記ロボットの第 2 の関節角速度指令を生成するステップ S A 4 と、

前記第 1 及び第 2 の関節角速度指令の和である第 3 の関節角速度指令に基づいて、前記各関節軸を駆動するサーボモータを制御し、前記ロボットが前記腕下げ動作を実行するステップ S A 5 と、を実行するロボットシステムの制御方法が適用される。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、冗長ロボットの消費エネルギーを低減する教示位置及び動作軌道を自動で生成できる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の一実施例に係るロボットシステムの構成図である。

[図2A]同ロボットシステムが有するロボットの外観図である。

[図2B]同ロボットシステムが有するロボットが腰部を曲げた状態を示す外観図である。

[図3]同ロボットシステムのロボット制御装置の機能ブロック図である。

[図4]同ロボットシステムの動作を示すフローチャートである。

[図5A]同ロボットシステムのロボットの腕下げ動作の説明図（1）である。

[図5B]同ロボットシステムのロボットの腕下げ動作の説明図（2）である。

[図6A]同ロボットシステムが有するロボットの操作モード A による動作を示す説明図である。

[図6B]同ロボットシステムの有するロボットの操作モード B による動作を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0011] 続いて、添付した図面を参照しつつ、本発明を具体化した実施例につき説明し、本発明の理解に供する。なお、各図において、説明に関連しない部分は図示を省略する場合がある。

[0012] 本発明の一実施例に係るロボットシステム 10 は、図 1 に示すように、ロボット 12 と、このロボット 12 の動作を制御するロボット制御装置 14 と

、ロボット 12 の位置姿勢を教示するための教示ペンダント 16 と、を備えている。

[0013] なお、図 1 に示すロボット座標系 C_r は、例えば、ロボット 12 の移動台車 12 a 上にある点を原点とし、ロボット 12 の前後方向に延びる X 軸、左右方向に延びる Y 軸、及び上下方向に延びる Z 軸からなる直交座標系である。

[0014] ロボット 12 は、図 1、図 2 A 及び図 2 B に示すように、移動台車 12 a と、腰部 12 b と、胴体 12 c と、左アーム L A と、右アーム R A と、を備えている。

移動台車 12 a は、例えばオムニホイールを用いて床面上を走行できる。移動台車 12 a は、X 軸方向に並進運動するための走行用軸 V_x 、Y 軸方向に並進運動するための走行用軸 V_y 、及び Z 軸回りに回転運動するための走行用軸 V_z を有している。

[0015] 腰部 12 b は、互いに間隔を空けて配置され、それぞれ床面に沿う方向に延びる軸回りに回転可能な腰関節軸 L_1 及び腰関節軸 L_2 を有している。また、腰部 12 b は、胴体 12 c の長手方向に延びる軸回りに回転可能な腰関節軸 L_3 を有している。従ってロボット 12 は、図 2 B に示すように、腰関節軸 $L_1 \sim L_3$ を駆動して、腰部 12 b を曲げたり、ひねったりすることができる。

[0016] 胴体 12 c は、腰部 12 b の上側に設けられている。胴体 12 c の上部には、図 2 A に示すように、頭部 12 d が設けられている。

左アーム L A は、胴体 12 c の左側部に設けられ、複数のリンク L N K が関節軸 $L_J 1 \sim L_J 7$ を介して連結されている。左アーム L A の先端部には、左ハンド L H が設けられている。

右アーム R A は、胴体 12 c の右側部に設けられ、複数のリンク L N K が関節軸 $R_J 1 \sim R_J 7$ を介して連結されている。右アーム R A の先端部には、右ハンド R H が設けられている。

[0017] 各走行用軸 V_x 、 V_y 、 V_z 、腰関節軸 $L_1 \sim L_3$ 、及び各関節軸 $R_J 1$

～R J 7、L J 1～L J 7は、それぞれ、エンコーダが内蔵されたサーボモータ（不図示）により駆動される。

なお、以下、走行用軸 V_x 、 V_y 、 V_z 及び腰関節軸 L_1 ～ L_3 については、それぞれ単に関節軸 V_x 、 V_y 、 V_z 及び関節軸 L_1 ～ L_3 と呼ぶ。

[0018] ここで、ロボット12は、ロボット12の作業空間の自由度に対して、関節軸を冗長に有するロボットであれば任意の構成を取りうる。冗長ロボットとは、制御点（例えば、ロボット12の手先に設定する。）の運動の自由度に対して、関節の運動の自由度が冗長性を有するロボットを指す。例えば、ロボット座標系 C_r の Y 軸回りにそれぞれ回転する3つの関節軸のみを有する3軸のロボットは、 XZ 平面に対しては冗長性を有している。従って、この3軸のロボットは、 XZ 平面上の動作に関しては、関節軸を冗長に有するロボットである。つまり、ロボットは、関節の軸数や軸構成に関係なく、要求される動作に対して冗長自由度を有する冗長ロボットであればよい。

なお制御点とは、ロボットの制御対象となる箇所に設定された座標系の原点を指し、一般に手先に設定されることが多い。また制御点は位置だけでなく姿勢も含む意味で用いられることもあり、本実施例でもロボット座標系 C_r を基準とした手先の座標系の位置、姿勢を「制御点の位置姿勢」と表記する。

[0019] ロボット制御装置14は、ロボット12にケーブルを介して接続されている。ロボット制御装置14は、ロボット12に搭載されていてもよい。ロボット制御装置14は、図3に示すように、第1の指令生成部14aと、第1の最適化動作指令生成部14bと、第2の最適化動作指令生成部14cと、ゼロ空間行列計算部14dと、第2の指令生成部14eと、位置速度制御部（制御部の一例）14fと、を有している。ロボット制御装置14は、図示しないCPUを搭載しており、図3に示す各ブロックの機能は、CPUにより実行されるソフトウェアプログラムやハードウェアによって実現される。

[0020] 第1の指令生成部14aには、ロボット12の手先（制御部の一例）の速度指令（ベクトル） V が入力される。第1の指令生成部14aは、入力され

た手先の速度指令 V に基づいて手先を移動させる関節角速度指令（第1の関節角速度指令） ω_{TASK} を生成できる。この関節角速度指令 ω_{TASK} は、ロボット12の運動を効率化し、各関節の運動に必要な運動エネルギーを低減するための指令である。

以下、ロボット12の手先の速度指令 V を、単に「手先速度指令 V 」という。

[0021] 第1の最適化動作指令生成部14bは、ロボット12が腕下げ動作をするための関節角速度指令 ω_{ELB} （関節角速度指令A）を出力できる。ここで、腕下げ動作とは、ロボット12の各関節の運動により生ずるアームの肘（冗長軸）の張り出しを、制御点の位置姿勢を維持したまま、冗長自由度を利用して内側に抑える動作をいう。関節角速度指令 ω_{ELB} の演算方法については後述する。

[0022] 第2の最適化動作指令生成部14cは、ロボット12の姿勢保持に必要なトルク（姿勢保持トルク）を低減する観点に基づいて、ロボット12の運動を効率化するための関節角速度指令 ω_{GRV} （関節角速度指令B）を出力できる。関節角速度指令 ω_{GRV} の演算方法については後述する。

ロボット制御装置14は、手先速度指令 V を実現する関節角速度指令 ω_{TASK} に連動して、自動で冗長軸の関節角速度指令 ω_{ELB} 又は関節角速度指令 ω_{GRV} を生成できる。

[0023] ゼロ空間行列計算部14dは、ロボット12の関節軸 V_x 、 V_y 、 V_z 、 $L_1 \sim L_3$ 、 $RJ_1 \sim RJ_7$ 、 $LJ_1 \sim LJ_7$ の関節角度 θ_{CUR} （ベクトル）に基づいて、ロボット12の手先に関するヤコビ行列 J のゼロ空間行列 N を計算できる。詳細には、ゼロ空間行列計算部14dは、関節角度 θ_{CUR} からロボット12の手先の位置姿勢及び各関節軸 V_x 、 V_y 、 V_z 、 $L_1 \sim L_3$ 、 $RJ_1 \sim RJ_7$ 、 $LJ_1 \sim LJ_7$ のそれぞれの方向を求め、ロボット12の手先に関するヤコビ行列 J のゼロ空間行列 N を計算できる。

[0024] ここで、関節角度 θ_{CUR} は、ロボット12を駆動するサーボモータのエンコーダから計算される関節角度の現在値 θ_{fb} 、又はソフトウェア上で計算さ

れる関節角度の指令値 θ_{ref} のいずれかの値が用いられる。関節角度の現在値 θ_{fb} 及び関節角度の指令値 θ_{ref} は、1 制御周期前（1 サンプル周期前）の値である。なお、ロボット 12 の関節角度の現在値 θ_{fb} は、各サーボモータのエンコーダからフィードバックされたエンコーダ値に減速比を乗算した結果に基づいて求められる。

[0025] ゼロ空間行列 N とは、冗長ロボットにおいて、手先の位置姿勢を維持したまま、冗長自由度の動作指令を生成するための演算行列である。この動作指令は、冗長軸という特定の軸のみに対する指令ではなく、冗長自由度（手先の位置姿勢に影響の無い関節自由度）に対する指令であって、制御対象軸は、冗長軸を含む全ての軸又は一部の軸であり、制御周期毎のロボットの姿勢、動作方向に応じて異なる。

[0026] ここで、この制御対象軸について、ロボット座標系 C_r の Y 軸回りにそれぞれ回転する 3 つの関節軸（第 1 ～ 第 3 の関節軸）のみを有し、 XZ 平面上の位置を任意に移動する 3 軸ロボットを例に説明する。この場合の冗長自由度としての制御対象軸は、3 軸ロボットの第 1 ～ 第 3 の関節軸のうちの 1 つの関節軸に限られものではなく、手先位置を維持したまま、ロボット座標系 C_r の Y 軸回りに回転できる（姿勢を変化させる事ができる）第 1 ～ 第 3 の関節軸のうちの少なくとも 1 つの関節軸である。いずれの関節軸を制御対象軸とするかはゼロ空間行列を用いて計算される。例えば、第 3 の関節軸が動作リミットに到達し、 Z 軸方向又は X 軸方向へ手先を移動させる動作に寄与できない場合には、冗長自由度としての制御対象軸は第 1 の関節軸及び第 2 の関節軸となる。

[0027] [数1]

ゼロ空間行列 N は、ロボットの手先に関するヤコビ行列 J 、後述する重み付きヤコビ逆行列 $\overline{J}$ 、及び単位行列 I に基づいて、次式により計算される。

$$N = I - \overline{J} J \quad \text{式 (1)}$$

[0028]

[数2]

$$\underline{J} = \underline{W}^{-1} \underline{J}^T (\underline{J} \underline{W}^{-1} \underline{J}^T)^{-1} \quad \text{式 (2)}$$

[0029] ロボット 1 2 の手先以外の箇所を制御対象箇所（制御点）とする場合には、その制御対象箇所（制御点）に対応した別のヤコビ行列が用いられる。

[0030] 第 2 の指令生成部 1 4 e は、関節角速度指令 ω_{ELB} 、関節角速度指令 ω_{GRV} 、及びゼロ空間行列 N に基づいて、関節角速度指令（第 2 の関節角速度指令） ω_{ref2} を生成できる。生成された関節角速度指令 ω_{ref2} は、第 1 の指令生成部 1 4 a が生成した関節角速度指令 ω_{TASK} に加算され、関節角速度指令（第 3 の関節角速度指令） ω_{ref3} となる（図 3 参照）。関節角度の指令値 θ_{ref} は、電源投入時のロボット 1 2 の関節角度の現在値 θ_{fb} （エンコーダ値に減速比を乗算した値）に、関節角速度指令 ω_{ref3} を加算して求められ、制御周期毎に積算されて、更新される。

[0031] 位置速度制御部 1 4 f は、関節角速度指令 ω_{ref3} に基づいて、サーボモータを制御できる。詳細には、位置速度制御部 1 4 f は、関節角速度指令 ω_{ref3} の積分値及び関節角度 θ_{CUR} の和である関節角度の指令値 θ_{ref} と、関節角度の現在値 θ_{fb} と、に基づいて、サーボモータをフィードバック制御できる。すなわち、位置速度制御部 1 4 f は、各サーボモータを制御し、ロボット 1 2 の各関節軸 V_x 、 V_y 、 V_z 、 $L1 \sim L3$ 、 $RJ1 \sim RJ7$ 、 $LJ1 \sim LJ7$ の位置速度を制御できる。

位置速度制御部 1 4 f への指令として、関節角速度指令 ω_{ref3} を使用し、関節角速度指令 ω_{ref3} と、各サーボモータのエンコーダからフィードバックされたエンコーダ値に減速比を乗算した結果に基づいて求められた関節角速度の現在値と、に基づいて、フィードバック制御してもよい。

[0032] 位置速度制御部 1 4 f は、ロボット 1 2 が有する関節軸 V_x 、 V_y 、 V_z 、 $L1 \sim L3$ 、 $RJ1 \sim RJ7$ 、 $LJ1 \sim LJ7$ の数に対応する分だけ設けられている。

- [0033] 図1に示す教示ペンダント16は、ロボット制御装置14に接続されている。操作者は、教示ペンダント16を用いて、ロボット12の制御対象箇所（制御点）を指定の座標系に基づいて動作させることができる。
- [0034] ここで、制御対象箇所（制御点）は、例えば、左ハンドLH上の特定部位や右ハンドRH上の特定部位である。制御対象箇所の他の例として、ロボット12の関節の特定部位や手先に取り付けたエンドエフェクタの先端等が挙げられる。また、制御対象箇所を左アームLA、右アームRA、又は両アームLA、RAとして切り替えることができる。
- [0035] また、指定の座標系とは、例えば、ロボット座標系Crである。指定の座標系としてロボット座標系Crが選択されている場合には、ロボット12の手先をX軸方向、Y軸方向及びZ軸方向に移動させたり、X軸回りの回転方向、Y軸回りの回転方向及びZ軸回りの回転方向に姿勢を変化させたりすることができる。指定の座標系の他の例として、関節座標系やロボット12の操作者が任意に設定した座標系等が挙げられる。
- [0036] 教示ペンダント16には、図示しないジョグ操作ボタン、操作モード切り替えボタンA、操作モード切り替えボタンB、及び再生ボタンが設けられている。
- [0037] ジョグ操作ボタンは、操作者がロボット12をジョグ操作するためのボタンである。ジョグ操作ボタンが押されると、そのジョグ操作ボタンについて予め設定された手先速度指令Vが第1の指令生成部14aに入力される。
- [0038] ジョグ操作ボタンは、詳細には、X+ボタン、X-ボタン、Y+ボタン、Y-ボタン、Z+ボタン、Z-ボタン、Rx+ボタン、Rx-ボタン、Ry+ボタン、Ry-ボタン、Rz+ボタン、Rz-ボタンである。例えば、X+ボタンが押下されると、予め設定された速度で指定の座標系のX軸の正方向に手先が移動するように、手先速度指令Vが第1の指令生成部14aに入力される。また、Rx+ボタンが押下されると、予め設定された速度で指定の座標系のX軸回りの正方向に手先の姿勢が変化するように、手先速度指令Vが第1の指令生成部14aに入力される。

[0039] 操作モード切り替えボタンA、Bは、操作者が、ロボット12の操作モードを切り替えるためのボタンである。操作モード切り替えボタンAが押下されると、腕下げ操作モード（以下、操作モードAという場合がある。）に切り替わる。操作モード切り替えボタンBが押下されると、姿勢保持トルクを低減する操作モード（以下、操作モードBという場合がある。）に切り替わる。

[0040] 操作者が操作モード切り替えボタンA、Bを押下すると、それぞれ、図3に示す信号Aが第1の最適化動作指令生成部14bに入力され、信号Bが第2の最適化動作指令生成部14cに入力される。信号Aが第1の最適化動作指令生成部14bに入力されると、第1の最適化動作指令生成部14bが動作する。信号Bが第2の最適化動作指令生成部14cに入力されると、第2の最適化動作指令生成部14cが動作する。

[0041] 再生ボタンは、教示された作業プログラムの再生動作を行うためのボタンである。

[0042] ロボット12の操作者は、ジョグ操作ボタンを用いて、ロボット12をジョグ操作し、ロボット12の作業プログラムの教示を行うことができる。

また、操作者は、再生ボタンを用いて作業プログラムの再生動作を行うことができる。

[0043] 次に、図4を参照して、ロボットシステム10の動作について説明する。特に、操作者がジョグ操作ボタンを押して、図6Aの上図で示すように、ロボット12にテーブル40に載った物品OBJを両アームLA、RAのハンドLHとハンドRHにて挟んで把持させる作業プログラムを教示する際の動作について説明する。

[0044] 以下のステップSA1～SA5においては、ロボット12がテーブル40に載った物品OBJを把持する際に、腕下げ動作をするように、操作モードAにてロボット12の動作が制御される。

[0045] （ステップSA1）

操作者が操作モード切り替えボタンAを押して、操作モードを操作モード

A（腕下げモード）とする。この操作により、図3に示す信号Aが第1の最適化動作指令生成部14bに入力される。

[0046] 操作者がジョグ操作ボタン（例えば、X+ボタン）を押して、ロボット12の手先を物品OBJを把持するための位置姿勢に移動させる。すなわち、操作者は、ロボット12をジョグ操作する。

ジョグ操作により、図3に示す第1の指令生成部14aに、手先速度指令Vが入力される。

[0047] なお、ジョグ操作の代わりに、ロボット12がセンサ（不図示）から得られた情報に基づいて自律的に移動してもよい。例えば、ロボット12に取り付けられたビジョンセンサを用いて物品OBJを認識し、ロボット12が現在の位置から物品OBJに向かって手先を自律的に移動させる動作であってもよい。この場合、第1の指令生成部14aに入力される手先速度指令Vは、例えば次の手順によって求められる。まず、現在のロボット12の制御点と認識結果としての物品OBJの位置との間の距離を、予め設定された動作時間で割ることによって速度指令を計算する。次に、計算された速度指令をフィルタリングすることによって、所定の加減速が付与された手先速度指令Vとする。フィルタリングには、例えば、移動平均フィルタやローパスフィルタを用いる。フィルタリングによって、ロボットの急激な加減速がソフトウェア上で回避される。

[0048] ロボット制御装置14の第1の指令生成部14a、第1の最適化動作指令生成部14b、ゼロ空間行列計算部14d、第2の指令生成部14e、及び位置速度制御部14fは、以下のように動作する。

第1の指令生成部14aは、式(2)、(3)を用いて、運動エネルギーを抑制するための関節角速度指令 ω_{TASK} を生成する。すなわち、重み行列Wを用いて重み付きヤコビ逆行列が求められ、求められた重み付きヤコビ逆行列に制御点の速度指令を乗じて関節角速度指令 ω_{TASK} が求められる。

[0049]

2, K 2,

K 2, K 2, K 2]

[0054] 重み行列W 3は、例えばロボット1 2の関節軸V x、V yの最大並進推力が、それぞれ1 0 Nであり、関節軸V z、L 1～L 3の最大トルクが、それぞれ1 0 N m、5 N m、5 N m、5 N mであり、関節軸R J 1～R J 7、L J 1～L J 7の最大トルクがそれぞれ1 N mである場合、対角項は、各関節軸V x、V y、V z、L 1～L 3、R J 1～R J 7、L J 1～L J 7の最大並進推力又は最大トルクに正の定数K 3を乗じた値となる対角行列に設定される。

すなわち、重み行列W 3は、例えば以下のように設定される。

[0055] $W 3 = \text{diag} [1 0 \times K 3, 1 0 \times K 3, 1 0 \times K 3, 5 \times K 3, 5 \times K 3,$
 $5 \times K 3, K 3, K 3, K 3, K 3, K 3, K 3, K 3, K 3, K 3,$
 $K 3, K 3, K 3]$

[0056] ここで、前述の重み行列W 1を重み行列Wとして用いることにより、理論的には制御周期毎のロボット1 2の各関節の運動に必要な運動エネルギーを最小化できる。しかし、実際には、各関節に備わるサーボモータの最大回転速度や最大出力トルクには上限があり、生成した関節速度指令に従って、ロボット1 2が動作できない場合がある。そこで、前述の重み行列W 2、又は重み行列W 3のように、各関節軸V x、V y、V z、L 1～L 3、R J 1～R J 7、L J 1～L J 7の動作性能等を考慮して、運動エネルギーが抑制されるように重み行列Wが決定される。

[0057] 重み行列Wを用いることで、負荷重量や負荷イナーシャの大小に応じて角速度指令を与え、必要な運動エネルギーを抑えることが可能となる。具体的には、リンク等の駆動対象の負荷重量や負荷イナーシャが大きい関節軸（例えば、関節軸V x、V y、V z、L 1～L 3、L J 1、L J 2、R J 1、R J 2）ほど、より小さな角速度指令を与え、駆動対象の負荷重量や負荷イナ

ーシャの小さい関節軸（例えば、関節軸 $LJ3 \sim LJ7$ 、 $RJ3 \sim RJ7$ ）ほど、より大きな角速度指令を与えるための重み行列 W とする。

[0058] （ステップ $SA2$ ）

第1の最適化動作指令生成部14bは、信号 A が入力されると、ロボット12が腕下げ動作をするための関節角速度指令 ω_{ELB} を計算する。関節角速度指令 ω_{ELB} は、少なくとも以下3つの方法により計算することができる。これらの方法には、例えば、1）重力トルクのノルムの勾配を利用する計算方法 $A1$ 、2）位置エネルギーの勾配を利用する計算方法 $A2$ 、又は3）腕下げした姿勢へ位置決めする計算方法 $A3$ がある。いずれの計算方法を用いるかは、使用するロボットコントローラの演算能力や、対象ロボットの動力学計算パラメータが既知であるか等の状況に応じて決定される。

[0059] 左アーム LA 、右アーム RA 、又は両アーム LA 、 RA のうち、いずれを腕下げ動作の対象とするかは、制御対象箇所により決定される。例えば、ある教示過程において、制御対象箇所が右アーム RA の場合には右アーム RA のみの腕下げ動作が実行される。

[0060] 以下、関節角速度指令 ω_{ELB} の各計算方法 $A1$ 、 $A2$ 、 $A3$ について説明する。

（計算方法 $A1$ ）

計算方法 $A1$ では、次式（4a1）に基づき、重力トルクのノルムの勾配を用いて、重力トルクのノルムを小さくする方向に各関節軸を移動させるための関節角速度指令 ω_{ELB} が計算される。重力トルクのノルムとして、例えば、各関節の重力トルク（重力によって各関節軸に加えられるトルク） τ_{GRV} のユークリッドノルムや最大ノルム等が用いられる。

[0061] $\omega_{ELB} = K \text{ grad } \tau_{GRV}$ 式（4a1）

[0062] ここで、 K は腕下げ動作の制御を拘束するゲインである。ゲイン K は、大きな値にすればロボット12の動作を高速化できる。ただし、ゲイン K は、ロボット12が発振しない程度に抑えた値に設定しておく。

[0063] 重力トルクのノルム τ_{GRV} の勾配（ grad ）を用いて冗長軸を動作さ

せることにより、第1の最適化動作指令生成部14bは、姿勢保持トルク（重力トルクに抗するトルク）を抑制する姿勢を生成することができる。しかし、姿勢保持トルクを抑制する姿勢には2つの形態が存在する。例えば、腰関節軸L1について、ロボット12の胴体12cが直立した姿勢P1及び頭部12d（図2A参照）が鉛直方向真下を向いた姿勢P2は、姿勢保持トルクを低減できる。しかし、関節可動域の制約により、頭部12dが鉛直方向真下を向いた姿勢P2はとり得ない。このため、実用上は、2つの形態の姿勢のうち、いずれの姿勢について姿勢保持トルクを抑制するかを選択し、姿勢保持トルクの低減化を実現する。つまり、腰関節軸のように、姿勢保持トルクを抑制する姿勢に2つの形態が存在する関節軸については、関節可動域の制約を考慮して、関節軸の正方向及び負方向のうち、いずれかの方向に姿勢保持トルクを低減させるかを決定する。

[0064] （計算方法A2）

計算方法A2では、次式（4a2）に基づき、位置エネルギーPの勾配を用いて、位置エネルギーを小さくする方向に各リンクLNKを移動させるための関節角速度指令 ω_{ELB} が計算される。位置エネルギーは次式（4a3）に基づいて計算される。

$$[0065] \quad \omega_{ELB} = -K \quad g \quad rad \quad (P) \quad \text{式 (4 a 2)}$$

$$[0066] \quad P = \sum * (M * g^{CrT*} l g *) \quad \text{式 (4 a 3)}$$

[0067] ここで、*は両アームLA、RAを構成する複数のリンクのうち、いずれのリンクであるかを特定するための添え字である。Mはロボット12の各リンクの質量を示す。gは重力加速度を示す。 CrT* はロボット座標上Crにおける、第*リンク（複数のリンクの中から特定されたリンク）までの同次変換行列である。 $l g *$ は第*リンクの第*リンク座標（複数のリンクの中から特定されたリンクのリンク座標）上での重心位置である。

[0068] 位置エネルギーPの勾配（g rad）を用いて冗長軸を動作させることにより、位置エネルギーを抑制する姿勢を生成することができる。ここで、腰関節軸L1、L2によって支持される胴体12cについては、頭部12dが

鉛直方向下向きを向いた姿勢が位置エネルギーが最も小さくなる。しかし、関節可動域の制約により、頭部 1 2 d が鉛直方向真下を向く姿勢はとり得ない。そこで、腰関節軸 L 1、L 2 に対して本計算方法 A 2 を適用せず、胴体 1 2 c が直立した姿勢に保持する。一方、腰関節軸 L 1、L 2 以外の関節に対して本計算方法 A 2 を適用し、姿勢保持トルクを抑制する。

[0069] (計算方法 A 3)

計算方法 A 3 では、次式 (4 b) に基づき、関節軸の現在角度 θ_{CUR} と、最適な関節軸の角度 θ_{OPT} (ベクトル) と、の差を用いて、関節角速度指令 ω_{ELB} が計算される。最適な関節軸の角度 θ_{OPT} とは、1) ロボット 1 2 の右アーム R A 又は左アーム L A が肘の側方への張り出すこと、2) 右アーム R A 又は左アーム L A が胴体と干渉すること、3) 各関節軸の可動範囲、及び 4) ロボット 1 2 の特異姿勢等を考慮して、操作者が経験的に判断した値である。この最適な関節軸の角度 θ_{OPT} が明示的に決まっている場合にのみ、本計算方法 A 3 が適用される。

なお、 θ_{CUR} は、ロボット 1 2 を駆動するサーボモータのエンコーダから計算される関節角度の現在値 θ_{fb} 、又はソフトウェア上で計算される関節角度の指令値 θ_{ref} のいずれかの値が用いられる。関節角度の現在値 θ_{fb} 及び関節角度の指令値 θ_{ref} は、1 制御周期前の値である。

[0070] $\omega_{ELB} = K (\theta_{OPT} - \theta_{CUR})$ 式 (4 b)

[0071] ここで、この関節軸を、例えば関節軸 L J 2 や関節軸 R J 2 とすることで、ロボット 1 2 は、腕下げ動作 (図 5 A 参照) を行うことができる。

以上示した関節角速度指令 ω_{ELB} の計算方法 A 1 ~ A 3 は、いずれも腕下げ動作に関する関節にのみ適用される。例えば、第 2 の指令生成部 1 4 e が、関節軸 L J 2 に関する関節角速度指令 ω_{ELB} を計算することによって、左アーム L A について、腕下げ動作を行うことができる。また例えば、第 2 の指令生成部 1 4 e が、関節軸 R J 1、R J 2 に関する関節角速度指令 ω_{ELB} を計算することによって、右アーム R A について、腕下げ動作を行うことができる。

[0072] 腕下げ動作によって、ロボット12が人に与える威圧感が軽減される。また、腕下げ動作によってアームLA、RAの位置が低い位置にて保持されるので、アームLA、RAの位置が高い位置にある場合と比較して、より広いロボット12の作業空間が確保される。

[0073] ただし、各アームLA、RAを下げ過ぎることによって、各アームLA、RAと胴体12cとの干渉が発生したり、各アームLA、RAが特異姿勢をとったりする可能性がある。その場合には、図5Bに示すように関節角速度指令 ω_{ELB} に基づいて移動するアーム位置よりも、高い位置にアームLA、RAを移動させてもよい。その際の移動量は、作業空間を確保する上で障害とならない程度、又は威圧感を軽減する上で障害とならない程度の移動量であることが好ましい。

[0074] (ステップSA3)

ゼロ空間行列計算部14dは、前述の通り、ロボット12の関節角度 θ_{CUR} (関節角度の現在値 θ_{fb} 、又は関節角度の指令値 θ_{ref})に基づいて、ロボット12の手先に関するヤコビ行列Jのゼロ空間行列Nを計算する。

[0075] (ステップSA4)

第2の指令生成部14eは、次式(5)で示すように、関節角速度指令 ω_{ELB} 、及びゼロ空間行列Nに基づいて、関節角速度指令 ω_{ref2} を計算する。

[0076] $\omega_{ref2} = N \omega_{ELB}$ 式(5)

[0077] (ステップSA5)

関節角速度指令 ω_{ref3} は、次式(6)に基づいて計算される。

[0078] $\omega_{ref3} = \omega_{TASK} + \omega_{ref2}$ 式(6)

[0079] 位置速度制御部14fは、関節角度の指令値 θ_{ref} と、関節角度の現在値 θ_{fb} と、に基づき、フィードバック制御を実行する。位置速度制御部14fは、各サーボモータを制御し、ロボット12の各関節軸Vx、Vy、Vz、L1~L3、RJ1~RJ7、LJ1~LJ7を制御する。その結果、ロボット12は、腕下げ動作を実行する。

[0080] 図6Aは、操作モードAによるロボット12の姿勢（右下図）と、操作モードAが選択されていない場合のロボット12の姿勢（左下図）とを比較して示した図である。右下図に示すように、操作モードAによって、駆動対象の負荷重量や負荷イナーシャの小さい関節軸がより大きく動く。一方、負荷重量や負荷イナーシャの大きい関節軸（移動台車12aの走行用軸）はあまり動かない。

このように、ステップSA1～SA5により、必要な運動エネルギーを低減するようにロボット12が制御される。

[0081] （ステップSB1）

続いて、操作者は、ロボット12に物品OBJを把持した姿勢を一定時間保持させる。以下のステップSB1～SB5においては、ロボット12の手先の位置姿勢を維持したまま（物品OBJを把持したまま）ロボット12が各関節軸Vx、Vy、Vz、L1～L3、RJ1～RJ7、LJ1～LJ7のトルクを抑制する姿勢をとるように、操作モードBにてロボット12の動作が制御される。

例えば、左アームLA及び右アームRAが水平方向に伸びた姿勢は、胴体12cの側に近い、左アームLA及び右アームRAを構成する関節軸ほど、一般に負荷トルクが増大する。そこで、移動台車12aによりロボット12がテーブル40に近づくよう移動し、手先の位置姿勢を維持したまま、冗長自由度を使用して左アームLA及び右アームRAを曲げた姿勢をとる結果、姿勢保持トルクが抑制される。

[0082] また例えば、腰部12bを曲げて胴体12cを前傾させた姿勢は、移動台車12aの側の関節軸L1、L2の負荷トルクが増大する。そこで、手先の位置姿勢を維持したまま、冗長自由度を使用して腰部12bを伸ばした姿勢をとる結果、姿勢保持トルクが抑制される。

[0083] 操作者が操作モード切り替えボタンBを押して、操作モードを操作モードB（姿勢保持トルクを低減する操作モード）とする。この操作により、図3に示す第1の最適化動作指令生成部14bに信号Aが入力されなくなり、代

わって信号Bが第2の最適化動作指令生成部14cに入力される。信号Aが入力されないので、第1の最適化動作指令生成部14bは動作しない。

[0084] 操作モード切り替えボタンBが押下されている間、図3に示す第1の指令生成部14aに、手先速度指令Vが入力される。

ロボット制御装置14の第1の指令生成部14a、第2の最適化動作指令生成部14c、ゼロ空間行列計算部14d、第2の指令生成部14e、及び位置速度制御部14fは、以下のように動作する。

[0085] 第1の指令生成部14aは、前述の式(2)、(3)を用いて運動エネルギーを抑制するための関節角速度指令 ω_{TASK} を生成する。関節角速度指令 ω_{TASK} に基づいてロボット12を動作させることにより、制御周期毎のロボットの各関節の運動に必要な運動エネルギーを抑制することができる。しかし、ロボット12を連続的に動作させていく中で、姿勢保持を伴う場面では、エネルギー消費の観点から必ずしも効率的ではない。このため、以下の姿勢保持トルク低減化の手段を用いることにより消費エネルギーが抑えられる。

[0086] (ステップSB2)

第2の最適化動作指令生成部14cは、信号Bが入力されると、関節角速度指令 ω_{GRV} を計算する。関節角速度指令 ω_{GRV} は、少なくとも以下3つの方法により計算することができる。これらの方法には、例えば、1) 重力トルクのノルムの勾配を利用する計算方法B1、2) 位置エネルギーの勾配を利用する計算方法B2、又は3) 姿勢保持トルクを抑制する姿勢へ位置決める計算方法B3がある。

[0087] 以下、関節角速度指令 ω_{GRV} の各計算方法B1、B2、B3について説明する。

(計算方法B1)

計算方法B1では、次式(7a1)に基づき、重力トルクのノルムの勾配を用いて重力トルクのノルムを小さくする方向に各関節軸を移動させるための関節角速度指令 ω_{GRV} が計算される。重力トルクのノルムとして、例えば、各関節の重力トルク(重力によって各関節軸に加えられるトルク) τ_{GRV} のユ

ークリッドノルム、又は最大ノルム等が用いられる。

$$[0088] \quad \omega_{GRV} = K \quad g \quad r \quad a \quad d \quad // \quad \tau_{GRV} \quad // \quad \text{式 (7 a 1)}$$

[0089] (計算方法 B 2)

計算方法 B 2 では、次式 (7 a 2) に基づき、位置エネルギー P の勾配を用いて、各リンク L N K の位置エネルギーを小さくする方向に各リンク L N K を移動させるための関節角速度指令 ω_{GRV} が計算される。位置エネルギーは次式 (7 a 3) に基づいて計算される。

$$[0090] \quad \omega_{GRV} = -K \quad g \quad r \quad a \quad d \quad (P) \quad \text{式 (7 a 2)}$$

$$[0091] \quad P = \sum * (M * g^C r T * l g *) \quad \text{式 (7 a 3)}$$

[0092] (計算方法 B 3)

計算方法 B 3 では、次式 (7 b) に基づき、関節軸の現在角度 θ_{CUR} と、最適な関節軸の角度 θ_{OPT} と、の差を用いて、関節角速度指令 ω_{GRV} が計算される。最適な関節軸の角度 θ_{OPT} とは、例えば、ロボット 1 2 が直立し、右アーム R A 及び左アーム L A が鉛直方向下向きに伸びた姿勢である。この姿勢は、静力学的な観点から、ロボット 1 2 の姿勢保持トルクを抑制させる姿勢である。

$$[0093] \quad \omega_{GRV} = K (\theta_{OPT} - \theta_{CUR}) \quad \text{式 (7 b)}$$

[0094] 以上示した関節角速度指令 ω_{GRV} の計算方法 B 1 ~ B 3 は、制御対象となる関節軸全てに適用される。

[0095] (ステップ S B 3)

ゼロ空間行列計算部 1 4 d は、前述の式 (1) にて示したように、ロボット 1 2 の関節角度 θ_{CUR} に基づいて、ロボット 1 2 の手先に関するヤコビ行列 J のゼロ空間行列 N を計算する。

[0096] (ステップ S B 4)

第 2 の指令生成部 1 4 e は、次式 (8) で示すように、関節角速度指令 ω_{GRV} 、及びゼロ空間行列 N に基づいて、関節角速度指令 $\omega_{ref 2}$ を計算する。

$$[0097] \quad \omega_{ref 2} = N \omega_{GRV} \quad \text{式 (8)}$$

[0098] (ステップS B 5)

関節角速度指令 ω_{ref3} は、前述の式(6)に基づいて計算される。

位置速度制御部14fは、関節角度の指令値 θ_{ref} と、関節角度の現在値 θ_{fb} と、に基づき、フィードバック制御を実行する。位置速度制御部14fは、各サーボモータを制御し、ロボット12の各関節軸 V_x 、 V_y 、 V_z 、 $L1 \sim L3$ 、 $RJ1 \sim RJ7$ 、 $LJ1 \sim LJ7$ を制御する。その結果、ロボット12は、姿勢保持に必要なトルクを抑制する。

[0099] 図6Bは、操作モードAによる動作が完了した状態(ステップS A 5の実行が完了した状態)のロボット12の姿勢(上図)と、操作モードBによるロボット12の姿勢(下図)とを比較して示した図である。本操作モードBにより、ロボット12の姿勢が操作モードAによる動作が完了した姿勢(図6Bの上図参照)から、左アームLA及び右アームRAを曲げ、腰部12bを伸ばした姿勢(図6Bの下図参照)へと変化する。すなわち、姿勢保持に必要なトルクを抑制した状態でロボット12の姿勢が保持される。

[0100] なお、前述のステップS B 1～S B 5は必ずしも実行されなくてもよく、ロボット12に物品OBJを把持した姿勢を保持させない場合には、ステップS A 5から次のステップS Cに進む。例えば、ロボット12が、物品OBJを把持し、物品OBJを移動させ、把持した物品OBJを開放する動作のように、ロボット12が連続的に動作する場合は、ステップS B 1～S B 5を実行することなく所定の次の動作を実行する方が、消費エネルギーを抑えることができる。しかし、ロボット12が右アームRAで物品OBJを把持した後、右アームRAの位置を保持しながら左アームLAで作業したり、ビジョン認識処理又は音声によるコミュニケーション処理をしたりする場合には、姿勢保持トルクを抑制するためにステップS B 1～S B 5を実行することによって、消費エネルギーが抑えられる。

[0101] (ステップS C)

図4に示すように、教示が完了した場合には、ロボットシステム10の動作は終了する。教示が完了していない場合には、ステップS A 1を実行する

。

[0102] このように、ステップS A 1～S A 5、ステップS B 1～S B 5、及びステップS Cを繰り返して実行することにより、作業プログラムを教示できる

。

教示された作業プログラムは、教示ペンダント16（図1参照）に設けられた再生ボタンが押下されることにより、再生動作される。

なお、これら一連のステップS A 1～S A 5、ステップS B 1～S B 5、及びステップS Cは、可能な場合には、並行して実行したり、順番を入れ替えて実行したりしてもよい。

[0103] 以上説明したように、本実施例に係るロボットシステム10によれば、冗長ロボットの消費エネルギーを低減する教示位置及び動作軌道を自動で生成できる。

[0104] 本発明は、前述の実施例に限定されるものではなく、本発明の要旨を変更しない範囲での変更は可能である。例えば、前述の実施例や変形例の一部又は全部を組み合わせる場合も本発明の技術的範囲に含まれる

。

[0105] ロボット制御装置14には、第1の最適化動作指令生成部14b及び第2の最適化動作指令生成部14cのうち、いずれか一方のみを設けることもできる。すなわち、第1の最適化動作指令生成部14bのみを設けて、腕下げ動作をするようにロボット12を制御することもできるし、第2の最適化動作指令生成部14cのみを設けて、姿勢保持トルクを抑制するようにロボット12を制御することもできる。すなわち、操作モードA及び操作モードBのうち、いずれか一方の操作モードのみによりロボット12が制御されてもよい。

[0106] 各ボタンは、ハードウェアによるボタンに限定されるものではない。ボタンは、ソフトウェアによって実現されるボタンであっても良い。

[0107] 教示デバイスは、教示ペンダントに限定されるものではない。教示デバイスの他の例として、パーソナルコンピュータ等のロボット制御装置14との

通信機能を備えた遠隔操作機器が挙げられる。

- [0108] 本発明は、前述の実施例に示したように実機のロボットを用いる場合だけでなく、ロボットのシミュレーションモデルを用いる場合にも適用できる。即ち、オフラインシミュレータを用いて作業プログラムの妥当性を確認するためにも利用できる。

符号の説明

- [0109] 10：ロボットシステム、12：ロボット、12a：移動台車、12b：腰部、12c：胴体、12d：頭部、14：ロボット制御装置、14a：第1の指令生成部、14b：第1の最適化動作指令生成部、14c：第2の最適化動作指令生成部、14d：ゼロ空間行列計算部、14e：第2の指令生成部、14f：位置速度制御部、16：教示ペンダント、40：テーブル、L1、L2、L3：腰関節軸、LJ1～LJ7：関節軸、LA：左アーム、LH：左ハンド、LNK：リンク、OBJ：物品、RA：右アーム、RH：右ハンド、RJ1～RJ7：関節軸、Vx、Vy、Vz：走行用軸

請求の範囲

- [請求項1] 複数のリンクを連結する、冗長軸を含む複数の関節軸を有し、前記複数の関節軸がサーボモータによって駆動されるロボットと、
前記ロボットを制御するロボット制御装置とを備え、
前記ロボット制御装置は、入力された前記ロボットの制御点の速度指令に基づいて、運動エネルギーを低減するための前記ロボットの第1の関節角速度指令を生成する第1の指令生成部と、
前記ロボットが腕下げ動作をするための関節角速度指令Aを生成する第1の最適化動作指令生成部と、
前記制御点に関するヤコビ行列のゼロ空間行列を計算するゼロ空間行列計算部と、
前記第1の最適化動作指令生成部が生成した前記関節角速度指令A及び前記ゼロ空間行列に基づいて、前記ロボットの第2の関節角速度指令を生成する第2の指令生成部と、
前記第1及び第2の関節角速度指令の和である第3の関節角速度指令に基づいて、前記サーボモータを制御する制御部と、を有するロボットシステム。
- [請求項2] 請求項1記載のロボットシステムにおいて、
前記第1の関節角速度指令は、前記制御点に関する重み付きヤコビ逆行列に該制御点の速度指令を乗じて求められるロボットシステム。
- [請求項3] 請求項2記載のロボットシステムにおいて、
前記重み付きヤコビ逆行列は、重み行列Wを用いて求められ、該重み行列Wは、前記複数の関節軸のうち、負荷の大きい前記関節軸ほど、より小さな角速度指令を与え、前記負荷の小さい前記関節軸ほど、より大きな角速度指令を与えるための行列であるロボットシステム。
- [請求項4] 請求項2又は3記載のロボットシステムにおいて、
前記関節角速度指令Aは、重力によって前記各関節軸に加えられる重力トルクを小さくする方向に、該各関節軸を移動させるための角速

度指令であるロボットシステム。

- [請求項5] 請求項2又は3記載のロボットシステムにおいて、
前記関節角速度指令Aは、前記各リンクの位置エネルギーを小さくする方向に、該各リンクを移動させるための角速度指令であるロボットシステム。
- [請求項6] 請求項2又は3記載のロボットシステムにおいて、
前記関節角速度指令Aは、前記関節軸の角度 θ_{CUR} と最適な前記関節軸の角度 θ_{OPT} との差を用いて計算されるロボットシステム。
- [請求項7] 請求項1～6のいずれか1項に記載のロボットシステムにおいて、
前記ロボット制御装置は、前記ロボットの姿勢保持トルクを抑制するための関節角速度指令Bを生成する第2の最適化動作指令生成部を更に有し、
前記第2の指令生成部は、前記関節角速度指令B及び前記ゼロ空間行列に基づいて、前記第2の関節角速度指令を生成するロボットシステム。
- [請求項8] 請求項7記載のロボットシステムにおいて、
前記関節角速度指令Bは、重力によって前記各関節軸に加えられる重力トルクを小さくする方向に、該各関節軸を移動させるための角速度指令であるロボットシステム。
- [請求項9] 請求項7記載のロボットシステムにおいて、
前記関節角速度指令Bは、前記各リンクの位置エネルギーを小さくする方向に、該各リンクを移動させるための角速度指令であるロボットシステム。
- [請求項10] 請求項7記載のロボットシステムにおいて、
前記関節角速度指令Bは、前記関節軸の現在角度 θ_{CUR} と、最適な前記関節軸の角度 θ_{OPT} と、の差を用いて計算されるロボットシステム。
- [請求項11] 冗長軸を含む複数の関節軸を有し、前記複数の関節軸がサーボモー

タによって駆動されるロボットと、

前記ロボットを制御するロボット制御装置とを備え、

前記ロボット制御装置は、入力された前記ロボットの制御点の速度指令に基づいて、運動エネルギーを低減するための前記ロボットの第 1 の関節角速度指令を生成する第 1 の指令生成部と、

前記ロボットの姿勢保持トルクを抑制するための関節角速度指令を生成する最適化動作指令生成部と、

前記制御点に関するヤコビ行列のゼロ空間行列を計算するゼロ空間行列計算部と、

前記最適化動作指令生成部が生成した前記関節角速度指令及び前記ゼロ空間行列に基づいて、前記ロボットの第 2 の関節角速度指令を生成する第 2 の指令生成部と、

前記第 1 及び第 2 の関節角速度指令の和である第 3 の関節角速度指令に基づいて、前記サーボモータを制御する制御部とを有するロボットシステム。

[請求項12]

冗長軸を含む複数の関節軸を有するロボットの制御点の速度指令に基づいて、運動エネルギーを低減するための前記ロボットの第 1 の関節角速度指令を生成する第 1 の指令生成部と、

前記ロボットが腕下げ動作をするための関節角速度指令 A を生成する第 1 の最適化動作指令生成部と、

前記制御点に関するヤコビ行列のゼロ空間行列を計算するゼロ空間行列計算部と、

前記関節角速度指令 A 及び前記ゼロ空間行列に基づいて、前記ロボットの第 2 の関節角速度指令を生成する第 2 の指令生成部と、

前記第 1 及び第 2 の関節角速度指令の和である第 3 の関節角速度指令に基づいて、サーボモータを制御する制御部とを有するロボット制御装置。

[請求項13]

請求項 1 2 記載のロボット制御装置において、

前記ロボットの姿勢保持トルクを抑制するための関節角速度指令Bを生成する第2の最適化動作指令生成部を更に有するロボット制御装置。

[請求項14] 冗長軸を含む複数の関節軸を有するロボットの制御点の速度指令に基づいて、運動エネルギーを低減するための前記ロボットの第1の関節角速度指令を生成するステップSA1と、

前記ロボットが、前記冗長軸の張り出しを、前記制御点の位置姿勢を維持したまま、冗長自由度を利用して抑える腕下げ動作を実行するための関節角速度指令Aを生成するステップSA2と、

前記制御点に関するヤコビ行列のゼロ空間行列を計算するステップSA3と、

前記関節角速度指令A及び前記ゼロ空間行列に基づいて、前記ロボットの第2の関節角速度指令を生成するステップSA4と、

前記第1及び第2の関節角速度指令の和である第3の関節角速度指令に基づいて、前記各関節軸を駆動するサーボモータを制御し、前記ロボットが前記腕下げ動作を実行するステップSA5と、を実行するロボットシステムの制御方法。

[請求項15] 請求項14記載のロボットシステムの制御方法において、

前記ステップSA5を実行した後、

前記第1の関節角速度指令を生成するステップSB1と、

前記ロボットの姿勢保持トルクを抑制するための関節角速度指令Bを生成するステップSB2と、

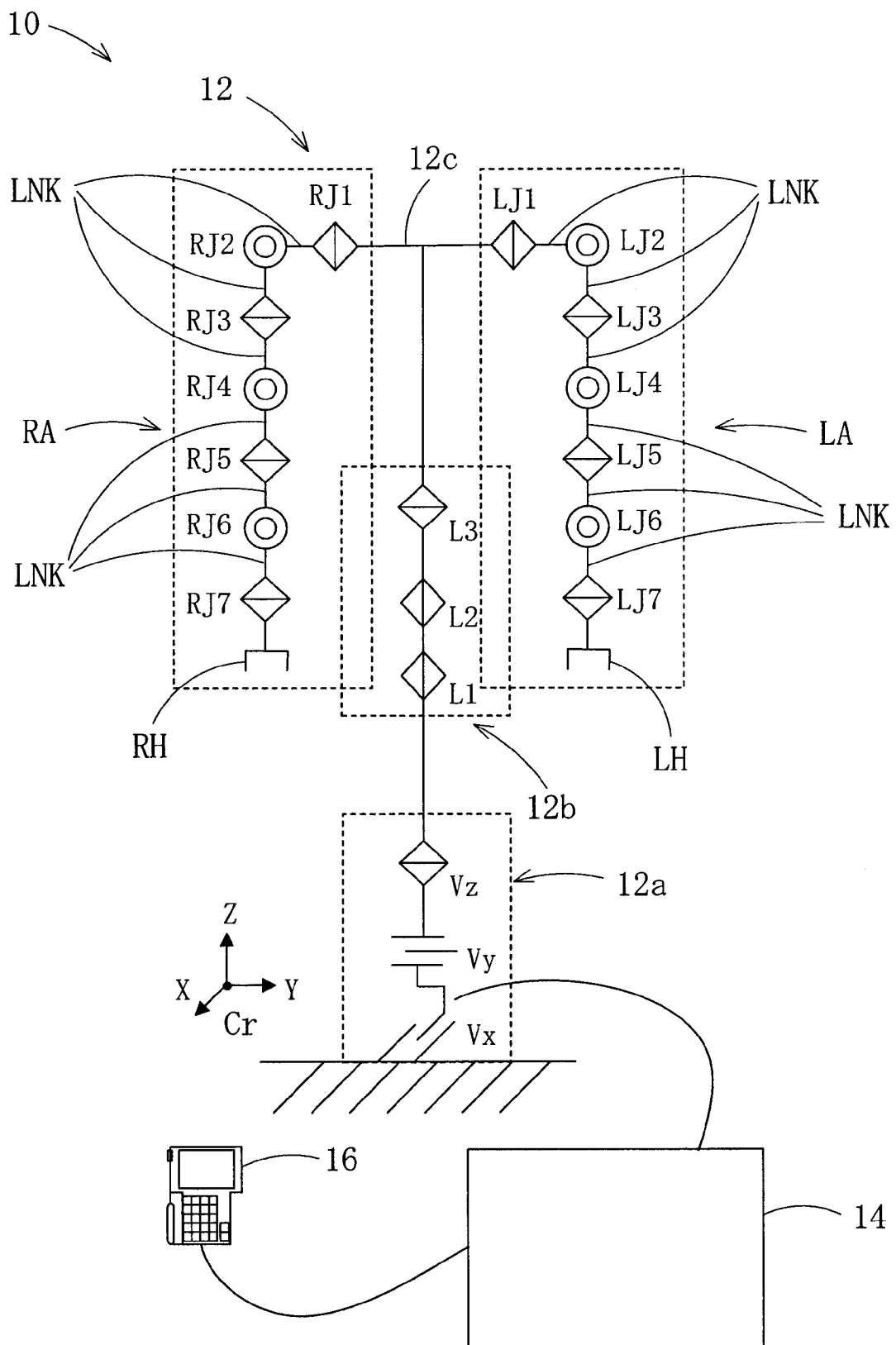
前記ゼロ空間行列を計算するステップSB3と、

前記関節角速度指令B及び前記ゼロ空間行列に基づいて、前記ロボットの第2の関節角速度指令を生成するステップSB4と、

前記ステップSB1で生成された前記第1の関節角速度指令及び前記ステップSB4で生成された前記第2の関節角速度指令の和である第3の関節角速度指令に基づいて、前記各関節軸を駆動するサーボモ

ータを制御し、前記ロボットが、姿勢保持に必要なトルクを抑制するステップS B 5 と、を更に実行するロボットシステムの制御方法。

[図1]



[図2A]

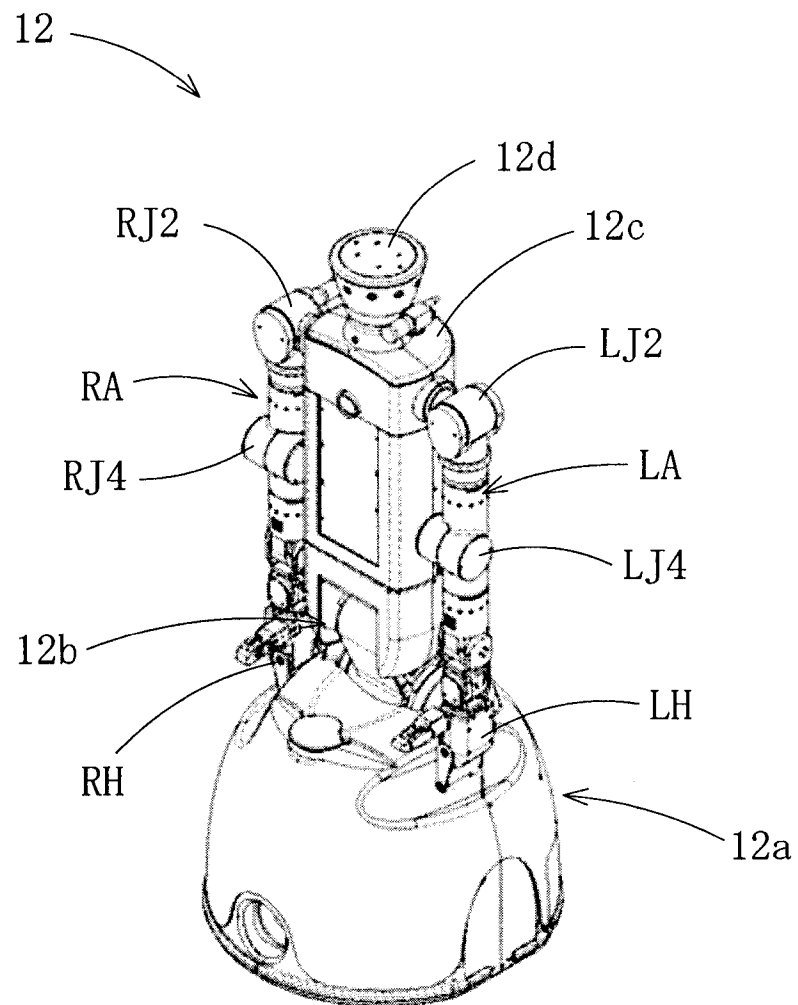
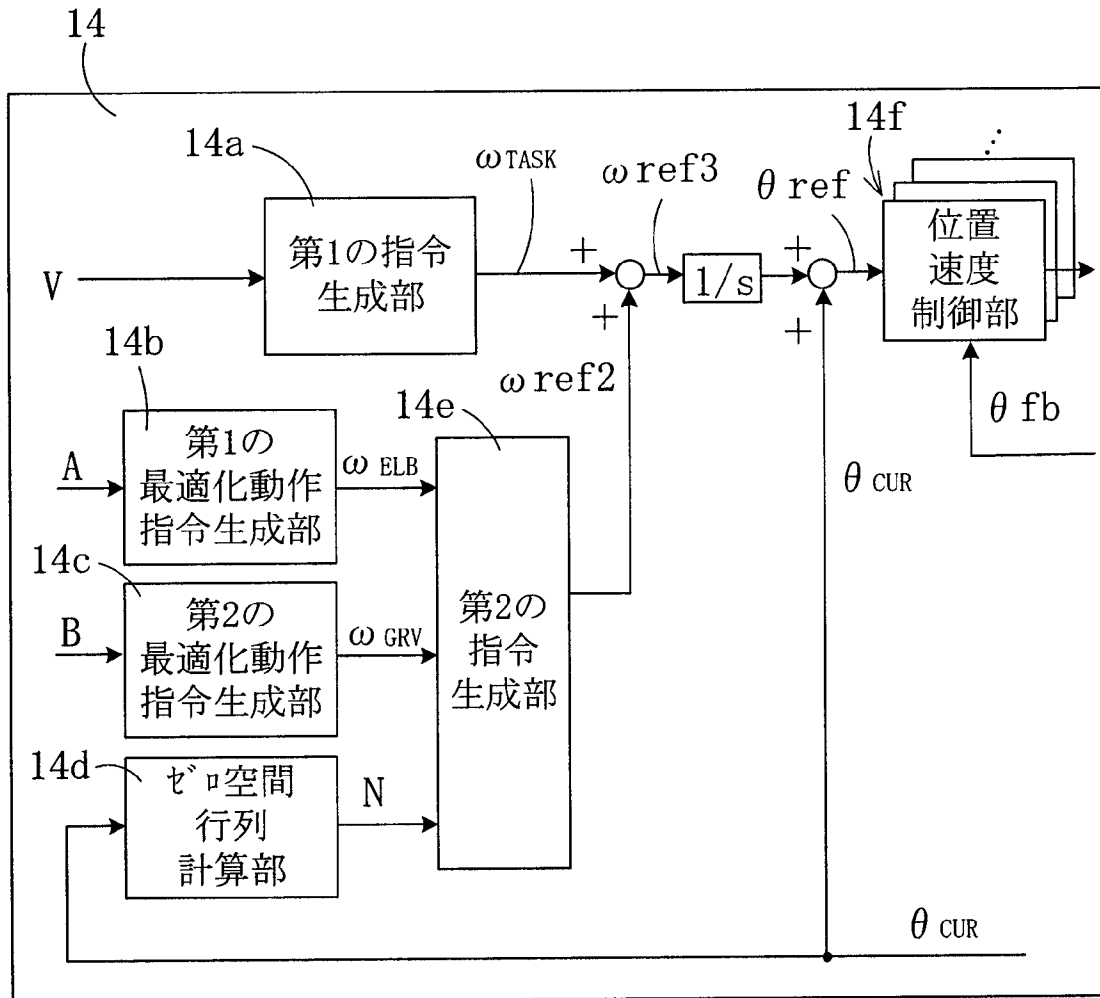
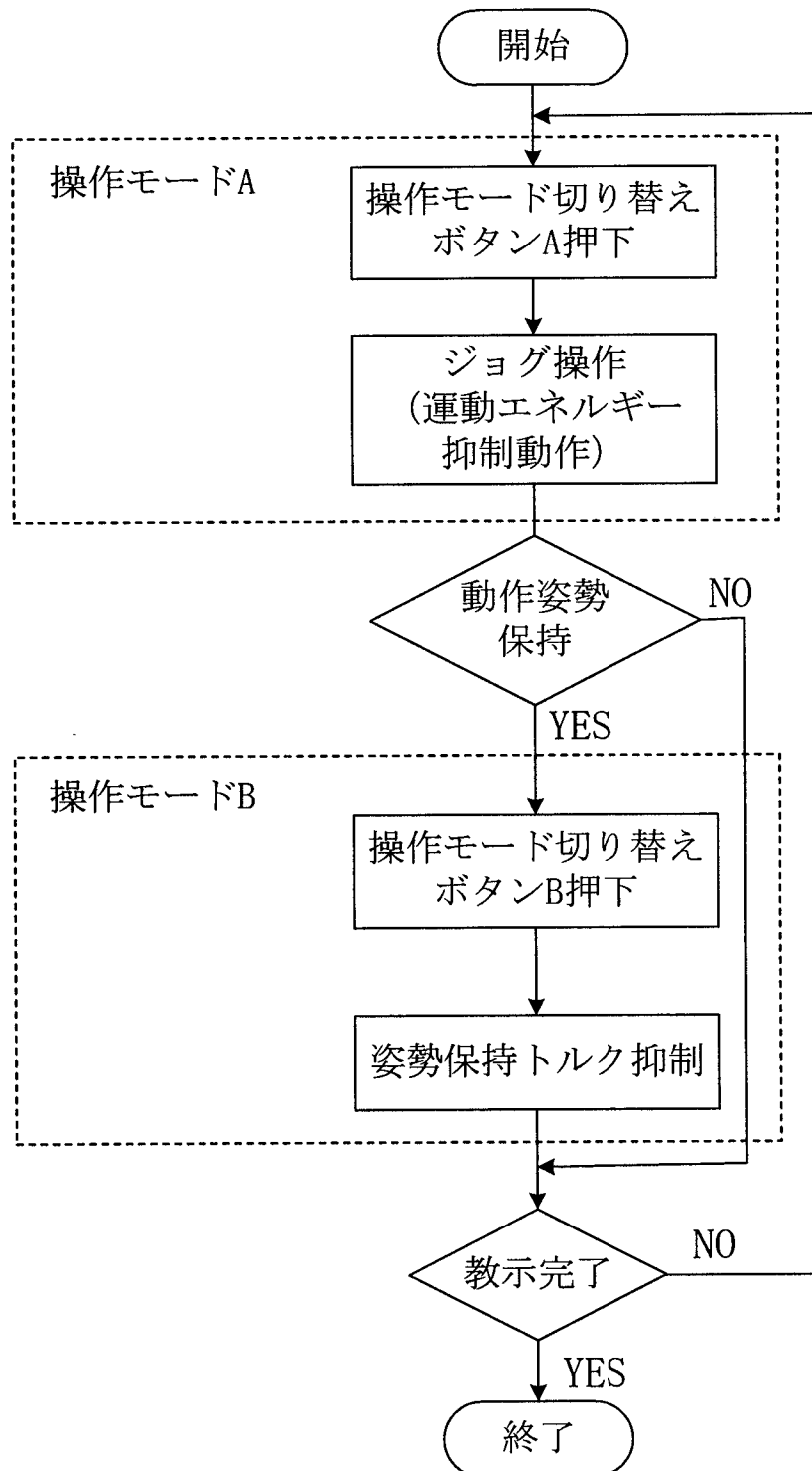


Figure 1 is a perspective view of a prosthetic arm 12. The arm is shown in a flexed position. It includes a shoulder assembly 12a, an upper arm 12b, a forearm 12c, and a hand 12d. The right arm is labeled RA and the left arm is labeled LA. The right hand is labeled RH and the left hand is labeled LH.

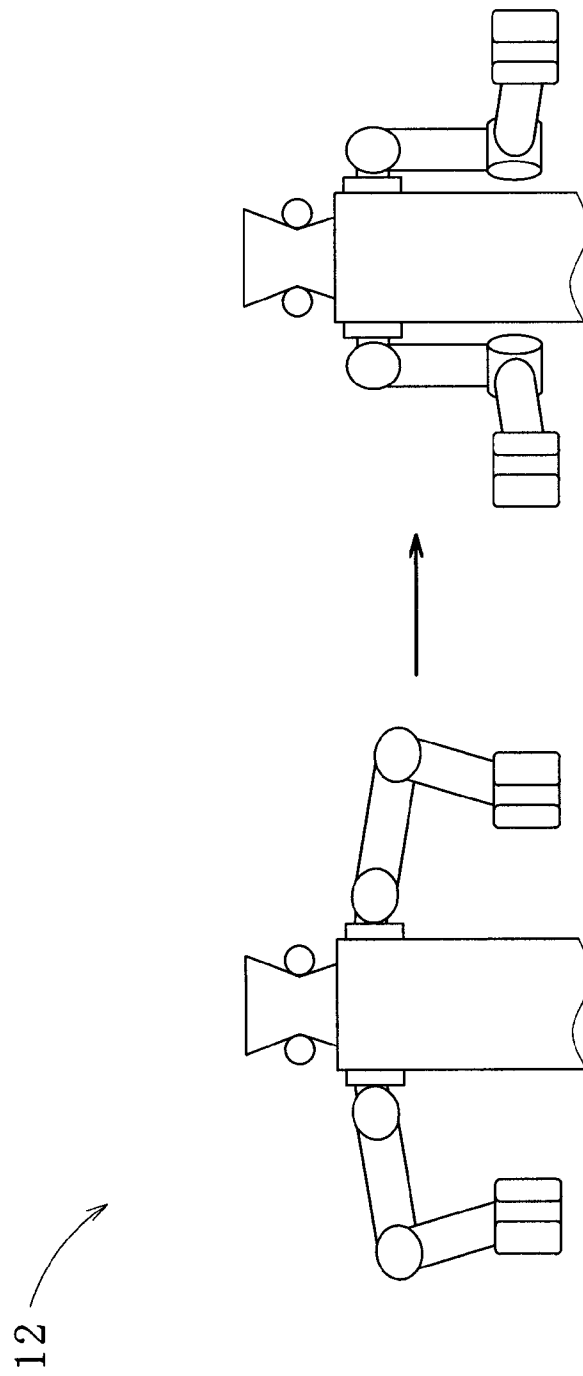
[図3]



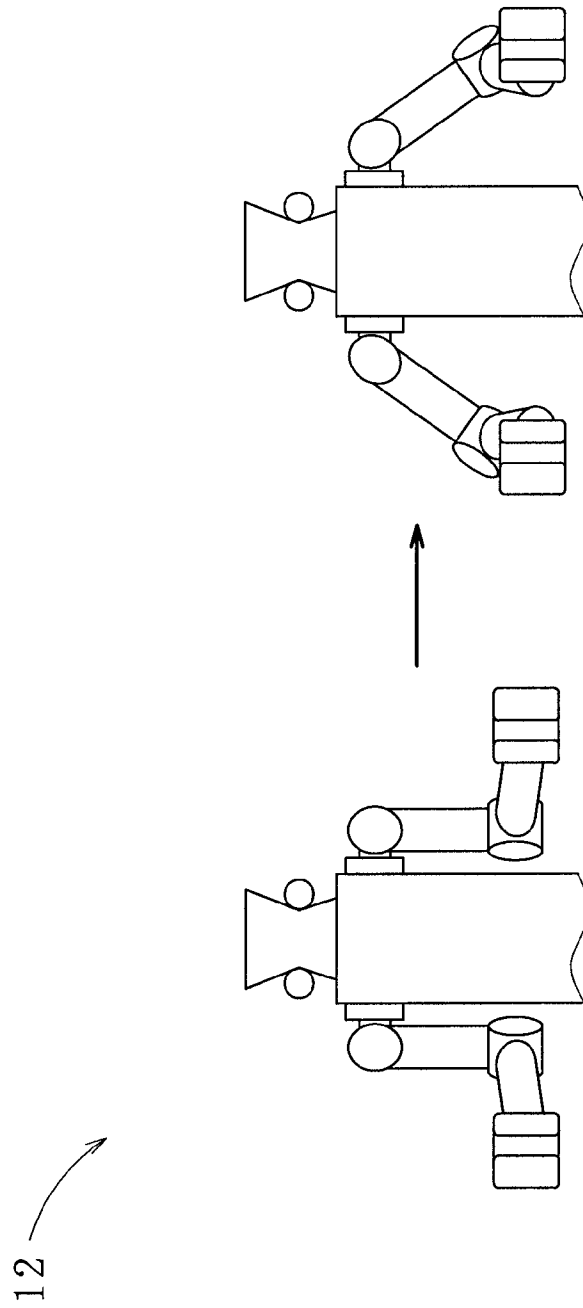
[図4]



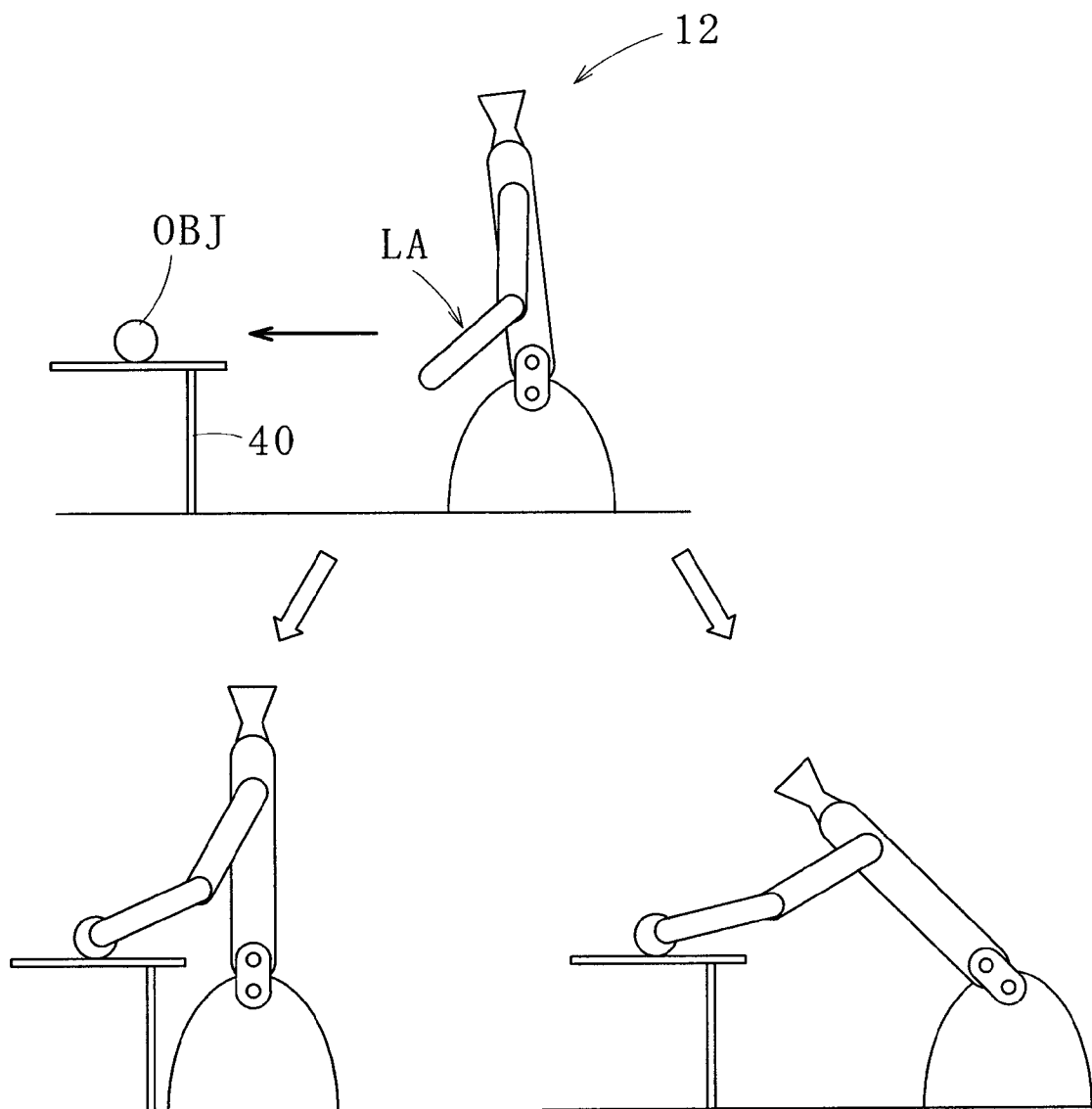
[図5A]



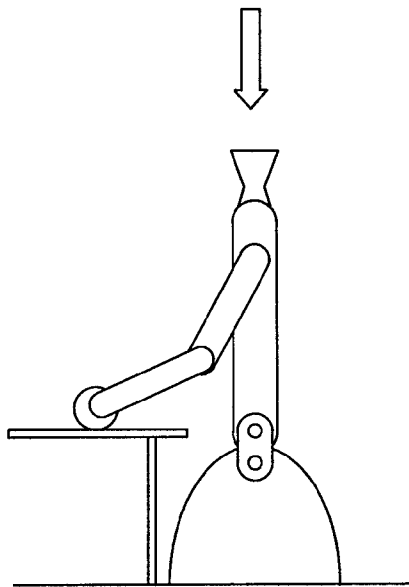
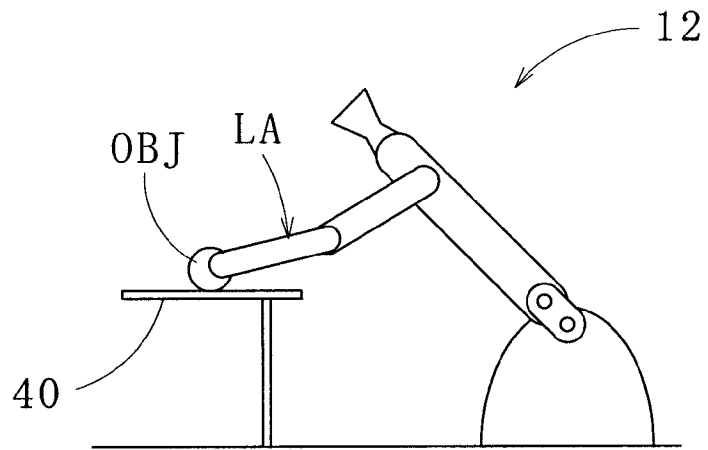
[図5B]



[図6A]



[図6B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/083299

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J13/00 (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)

B25J1/00-21/02

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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

IEEE Xplore, CiNii, JSTPlus (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Jacobian o Mochiita Gyaku Undogaku, TMPWiki, 01 February 2008 (01.02.2008)	1-15
Y	Minoru ASADA, RoboticsHandbook-2nd ed., CORONA PUBLISHING CO., LTD., GORAI, pages 285 to 287	1-15
Y	Shugen MA, "Efficient Redundancy Control of Redundant Manipulators", Journal of the Robotics Society of Japan, vol.14, no.5	1-15
Y	JP 2009-521751 A (Honda Motor Co., Ltd.), 04 June 2009 (04.06.2009), paragraph [0182] & US 2007/0162164 A1 & WO 2007/076119 A2	1-15

☒ 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
01 March, 2013 (01.03.13)

Date of mailing of the international search report
12 March, 2013 (12.03.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/083299

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2006-334774 A (Honda Research Institute Europe GmbH), 14 December 2006 (14.12.2006), paragraphs [0050] to [0052] & US 2006/0293790 A1 & EP 1728600 A1 & DE 602005005306 D & CN 1873572 A	1-15
A	JP 2000-354988 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 26 December 2000 (26.12.2000), entire text; all drawings (Family: none)	1-15

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. B25J13/00(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. B25J1/00-21/02

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 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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)

IEEE Xplore, CiNii, JSTPlus(JDreamII)

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
Y	ヤコビアンを用いた逆運動学, T M P S w i k i, 2008.02.01	1-15
Y	浅田 稔, 新版 ロボット工学ハンドブック Robotics Handbook-2nd ed., 第2版, 株式会社コロナ社 CORONA PUBLISHING CO., LTD. 牛来, pp. 285-287	1-15

☒ 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

0 1 . 0 3 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 2 . 0 3 . 2 0 1 3

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)

松浦 陽

3 U

3 7 5 2

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 2 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
Y	馬 書根 Shugen Ma, 冗長マニピュレータの効率的な冗長制御法 Efficient Redundancy Control of Redundant Manipulators, 日本 ロボット学会誌 第14巻 第5号 Journal of the Robotics Society of Japan, 第14巻	1-15
Y	JP 2009-521751 A (本田技研工業株式会社) 2009.06.04, [0182] & US 2007/0162164 A1 & WO 2007/076119 A2	1-15
Y	JP 2006-334774 A (ホンダ リサーチ インスティテュート ヨーロッ パ ゲーエムベーク) 2006.12.14, [0050]-[0052] & US 2006/0293790 A1 & EP 1728600 A1 & DE 602005005306 D & CN 1873572 A	1-15
A	JP 2000-354988 A (松下電器産業株式会社) 2000.12.26, 全文、全 図 (ファミリーなし)	1-15