

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-179466

(P2020-179466A)

(43) 公開日 令和2年11月5日(2020.11.5)

|                                  |                   |             |
|----------------------------------|-------------------|-------------|
| (51) Int.Cl.                     | F I               | テーマコード (参考) |
| <b>B 2 5 J</b> 9/10 (2006.01)    | B 2 5 J 9/10 A    | 3 C 2 6 9   |
| <b>G 0 5 B</b> 19/4093 (2006.01) | G 0 5 B 19/4093 E | 3 C 7 0 7   |

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 20 頁)

|           |                            |            |                                |
|-----------|----------------------------|------------|--------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2019-84367 (P2019-84367) | (71) 出願人   | 000005108                      |
| (22) 出願日  | 平成31年4月25日 (2019. 4. 25)   |            | 株式会社日立製作所                      |
|           |                            |            | 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号              |
|           |                            | (74) 代理人   | 110001678                      |
|           |                            |            | 特許業務法人藤央特許事務所                  |
|           |                            | (72) 発明者   | 山内 雄太                          |
|           |                            |            | 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株            |
|           |                            |            | 式会社日立製作所内                      |
|           |                            | (72) 発明者   | 中須 信昭                          |
|           |                            |            | 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株            |
|           |                            |            | 式会社日立製作所内                      |
|           |                            | F ターム (参考) | 3C269 AB33 BB05 BB14 CC09 EF02 |
|           |                            |            | 3C707 BS09 LS15 LT01 LV14 MS05 |
|           |                            |            | MT05                           |

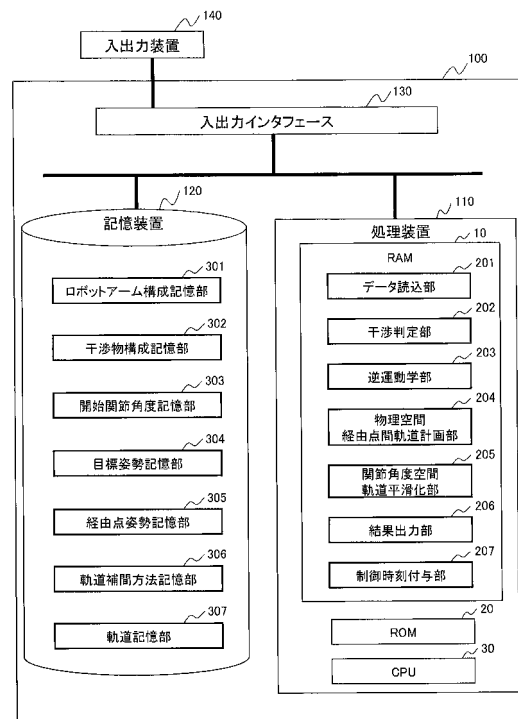
(54) 【発明の名称】 軌道計画装置、軌道計画方法及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】 関節角度変化を滑らかにして、ロボットアームの手先姿勢の変化を最小化しつつ、ロボットアームが高速に動作する軌道を算出する。

【解決手段】 ロボットアームの軌道を算出する軌道計画装置は、ロボットアームの構成と、関節を構成する軸の位置及び姿勢を含むロボットアーム構成情報と、開始姿勢におけるロボットアームの各軸の開始関節角度を設定した開始関節角度情報と、ロボットアームの手先の終点で、目標位置と目標姿勢が設定された目標姿勢情報と、ロボットアームの手先が通過する位置と姿勢を含む経由点が設定された経由点姿勢情報とを読み込んで、ロボットアームの手先の開始点から終点までの軌道を経由点間の補間によって生成し、ロボットアーム構成情報に基づきロボットアームの手先の姿勢及び位置から各軸の関節角度を算出し、物理空間で生成された軌道を逆運動学部で関節角度空間に変換してから当該軌道を平滑化する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

プロセッサとメモリを有して、多軸で構成されたロボットアームの手先の軌道を算出する軌道計画装置であって、

ロボットアームの構成と、ロボットアームの関節を構成する軸の位置及び軸の姿勢を含むロボットアーム構成情報と、

計画する軌道の開始姿勢における前記ロボットアームの各軸の角度を開始関節角度として設定された開始関節角度情報と、

前記ロボットアームの手先の終点で、目標位置と、前記ロボットアームの手先の目標姿勢が設定された目標姿勢情報と、

計画する軌道内で前記ロボットアームの手先が通過する位置と姿勢を含む経由点が設定された経由点姿勢情報と、

前記ロボットアーム構成情報と、前記開始関節角度情報と、前記目標姿勢情報と、前記経由点姿勢情報を読み込んで、ロボットアームの手先の開始点から前記終点までの軌道を、前記経由点間を補間して生成する物理空間経由点間軌道計画部と、

前記ロボットアーム構成情報に基づいて、前記ロボットアームの手先の姿勢及び位置から各軸の関節角度を算出する逆運動学部と、

前記物理空間経由点間軌道計画部で生成された前記軌道を、前記逆運動学部で関節角度空間に変換してから当該軌道を平滑化する関節角度空間軌道平滑化部と、  
を有することを特徴とする軌道計画装置。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の軌道計画装置であって、

前記関節角度空間軌道平滑化部で平滑化された軌道に対して、当該軌道の経由点を通過する時刻を付与する軌道時刻付与部を、さらに有することを特徴とする軌道計画装置。

## 【請求項 3】

請求項 1 に記載の軌道計画装置であって、

隣り合う経由点間を部分軌道として当該部分軌道における平滑化の可否を示す平滑化可否情報と、当該平滑化を行う際の補間方法を設定した軌道補間情報を、さらに有し、

前記関節角度空間軌道平滑化部は、

前記軌道補間情報を参照して、軌道を算出する対象の部分軌道の平滑化可否情報が可であれば前記補間方法に基づいて前記軌道を補完することを特徴とする軌道計画装置。

## 【請求項 4】

請求項 1 に記載の軌道計画装置であって、

前記ロボットアーム構成情報は、ロボットアームの 3 次元モデル情報を含み、

前記ロボットアームの周囲に配置された干渉物の 3 次元モデル情報及び位置を含む干渉物構成情報と、

前記物理空間経由点間軌道計画部又は前記関節角度空間軌道平滑化部で算出された軌道について、前記ロボットアーム構成情報と前記干渉物構成情報を参照して前記ロボットアームが前記干渉物と干渉するかどうかを判定する干渉判定部と、をさらに有することを特徴とする軌道計画装置。

## 【請求項 5】

請求項 2 に記載の軌道計画装置であって、

隣り合う経由点間を部分軌道として当該部分軌道における平滑化の可否を示す平滑化可否情報と、当該平滑化を行う際の補間方法を設定した軌道補間情報を、さらに有し、

前記軌道時刻付与部は、

隣り合う前記部分軌道の経由点において、隣接する部分軌道の速度又は加速度を一致させることを特徴とする軌道計画装置。

## 【請求項 6】

プロセッサとメモリを有する軌道計画装置が、多軸で構成されたロボットアームの手先の軌道を算出する軌道計画方法であって、

前記軌道計画装置が、ロボットアームの構成と、ロボットアームの関節を構成する軸の位置及び軸の姿勢を含むロボットアーム構成情報と、計画する軌道の開始姿勢における前記ロボットアームの各軸の角度を開始関節角度として設定された開始関節角度情報と、前記ロボットアームの手先の終点で、目標位置と、前記ロボットアームの手先の目標姿勢が設定された目標姿勢情報と、計画する軌道内で前記ロボットアームの手先が通過する位置と姿勢を含む経路点が設定された経路点姿勢情報と、を読み込んで、前記ロボットアームの手先の開始点から前記終点までの軌道を、前記経路点間を補間して生成する物理空間軌道計画ステップと、

前記軌道計画装置が、前記生成された軌道について、前記ロボットアーム構成情報を参照して前記ロボットアームの手先の姿勢及び位置から各軸の関節角度を算出し、前記軌道を関節角度空間に変換する逆運動学ステップと、

前記軌道計画装置が、前記関節角度空間に変換され前記軌道を平滑化する関節角度空間平滑化ステップと、

を含むことを特徴とする軌道計画方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の軌道計画方法であって、

前記軌道計画装置が、前記関節角度空間平滑化ステップで平滑化された軌道に対して、当該軌道の経路点を通る時刻を付与する軌道時刻付与ステップを、さらに含むことを特徴とする軌道計画方法。

【請求項 8】

請求項 6 に記載の軌道計画方法であって、

前記関節角度空間平滑化ステップは、

隣り合う経路点間を部分軌道として当該部分軌道における平滑化の可否を示す平滑化可否情報と、当該平滑化を行う際の補間方法を設定した軌道補間情報を読み込んで、前記軌道を算出する対象の部分軌道の平滑化可否情報が可であれば前記補間方法に基づいて前記軌道を補完することを特徴とする軌道計画方法。

【請求項 9】

請求項 6 に記載の軌道計画方法であって、

前記ロボットアーム構成情報は、前記ロボットアームの 3 次元モデル情報を含み、

前記軌道計画装置が、前記ロボットアームの周囲に配置された干渉物の 3 次元モデル情報及び位置を含む干渉物構成情報と、を読み込んで、前記物理空間軌道計画ステップ又は前記関節角度空間平滑化ステップで算出された軌道について、前記ロボットアーム構成情報と前記干渉物構成情報に基づいて前記ロボットアームが前記干渉物と干渉するか否かを判定する干渉判定ステップを、さらに含むことを特徴とする軌道計画方法。

【請求項 10】

請求項 7 に記載の軌道計画方法であって、

前記軌道時刻付与ステップは、

隣り合う経路点間を部分軌道として当該部分軌道における平滑化の可否を示す平滑化可否情報と、当該平滑化を行う際の補間方法を設定した軌道補間情報を、読み込んで、隣り合う前記部分軌道の経路点において、隣接する部分軌道の速度又は加速度を一致させることを特徴とする軌道計画方法。

【請求項 11】

プロセッサとメモリを有する計算機で、多軸で構成されたロボットアームの手先の軌道を算出させるためのプログラムであって、

ロボットアームの構成と、ロボットアームの関節を構成する軸の位置及び軸の姿勢を含むロボットアーム構成情報と、計画する軌道の開始姿勢における前記ロボットアームの各軸の角度を開始関節角度として設定された開始関節角度情報と、前記ロボットアームの手先の終点で、目標位置と、前記ロボットアームの手先の目標姿勢が設定された目標姿勢情報と、計画する軌道内で前記ロボットアームの手先が通過する位置と姿勢を含む経路点が設定された経路点姿勢情報と、を読み込んで、前記ロボットアームの手先の開始点から前

10

20

30

40

50

記終点までの軌道を、前記経路点間を補間して生成する物理空間軌道計画ステップと、  
前記生成された軌道について、前記ロボットアーム構成情報を参照して前記ロボットアームの手先の姿勢及び位置から各軸の関節角度を算出し、前記軌道を関節角度空間に変換する逆運動学ステップと、  
前記関節角度空間に変換され前記軌道を平滑化する関節角度空間平滑化ステップと、  
を前記計算機に実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、多軸ロボットアームの軌道計画技術に関するものである。

【背景技術】

【0002】

本技術分野の背景技術として、特許文献1が知られている。この特許文献1には、「しかしながら、従来例の場合には、経路教示点を通る際に動作方向が急激に変化することになるため、その経路教示点で大きな加速度が発生することがある。その結果、振動が引き起こされ、所要の精度が得られなかったり、無理な力が加わることによってウェハやガラス基板等の搬送対象や機械本体の破損を招いたりするという問題の生じるおそれがあった。本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、外乱を考慮して設定された経路教示点に応じてマニピュレータを移動させる場合であっても、速度変化を滑らかにすることができる制御装置等を提供することを目的とする。」と記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2014-104558号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

前記特許文献1には、開始教示点、目標教示点、経路教示点を入力とし、前記開始教示点、経路教示点、目標教示点間をそれぞれ結んだ線分上に定義される曲線補間点を通るように、曲線補間点を結ぶ軌道を算出する手法が記載されている。しかし、特許文献1の制御手法を多軸ロボットアームに適用する場合、すべての教示点を各軸の関節角度値、または手先の姿勢で入力する必要があるため、以下の問題が生じる。

【0005】

すべての教示点を各軸の関節角度で指定する場合、確かに関節角度空間上では滑らかに接続されるが、同じ手先姿勢を実現する複数の関節角度のうちいずれか一つをユーザが入力する必要がある。このため、入力する教示点によっては、軌道上で手先姿勢が大きく変化する可能性が生じる、という問題がある。

【0006】

一方で、すべての教示点を手先姿勢で決める場合、手先は滑らかに移動するものの、曲線補間点付近で、各軸の関節角度の変化が大きくなる可能性があるため、ロボットアームの各軸の角速度や角加速度の制約上、ロボットアームの動作が遅くなるという問題がある。つまり、特許文献1の制御手法では、手先姿勢の変化を最小にしつつ、ロボットアームが高速に動作する軌道が得られない場合があった。

【0007】

そこで本発明は、経路点、及び目標点を手先姿勢で入力することで、手先姿勢の滑らかな移動を実現し、経路計画中に関節角度空間での平滑化処理を導入することで、関節角度変化を滑らかにして、ロボットアームの手先姿勢の変化を最小化しつつ、ロボットアームが高速に動作する軌道を出力する装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

## 【0008】

本発明は、プロセッサとメモリを有して、多軸で構成されたロボットアームの手先の軌道を算出する軌道計画装置であって、ロボットアームの構成と、ロボットアームの関節を構成する軸の位置及び軸の姿勢を含むロボットアーム構成情報と、計画する軌道の開始姿勢における前記ロボットアームの各軸の角度を開始関節角度として設定された開始関節角度情報と、前記ロボットアームの手先の終点で、目標位置と、前記ロボットアームの手先の目標姿勢が設定された目標姿勢情報と、計画する軌道内で前記ロボットアームの手先が通過する位置と姿勢を含む経由点の設定された姿勢情報と、前記ロボットアーム構成情報と、前記開始関節角度情報と、前記目標姿勢情報と、前記経由点姿勢情報を読み込んで、ロボットアームの手先の開始点から終点までの軌道を、前記経由点間を補間して生成する物理空間経由点間軌道計画部と、前記ロボットアーム構成情報に基づいて、前記ロボットアームの手先の姿勢及び位置から各軸の関節角度を算出する逆運動学部と、前記物理空間経由点間軌道計画部で生成された前記軌道を、前記逆運動学部で関節角度空間に変換してから当該軌道を平滑化する関節角度空間軌道平滑化部と、と有する。

10

## 【発明の効果】

## 【0009】

本発明によれば、手先姿勢の変化を最小化しつつ、複数の経由点を通りロボットアームが高速に移動できる軌道を算出する装置を提供することができる。

## 【0010】

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

20

## 【図面の簡単な説明】

## 【0011】

【図1】本発明の実施例を示し、多軸ロボットアームの軌道計画装置の構成の一例を示すブロック図である。

【図2】本発明の実施例を示し、軌道計画装置で行われる処理の一例を示すフローチャートである。

【図3】本発明の実施例を示し、ロボットアーム構成データの一例を示す図である。

【図4】本発明の実施例を示し、干渉物構成データの一例を示す図である。

【図5】本発明の実施例を示し、開始関節角度データの一例を示す図である。

【図6】本発明の実施例を示し、目標姿勢データの一例を示す図である。

30

【図7】本発明の実施例を示し、経由点姿勢データの一例を示す図である。

【図8】本発明の実施例を示し、軌道補間方法データの一例を示す図である。

【図9】本発明の実施例を示し、軌道データの一例を示す図である。

【図10】本発明の実施例を示し、図2のステップS103で行われる、物理空間経由点間軌道計画部が実行する処理の一例を示すフローチャートである。

【図11】本発明の実施例を示し、図2のステップS104で行われる、関節角度空間軌道平滑化部が実行する処理の一例を示すフローチャートである。

【図12】本発明の実施例を示し、出力画面の一例を示す図である。

【図13】本発明の実施例を示し、ロボットアームの軌道の一例を示す図である。

【図14】本発明の実施例を示し、部分軌道で軌道計画を実施した結果の一例を示す図である。

40

【図15】本発明の実施例を示し、平滑化可否の情報を用いた関節角度空間上の軌道の一例を示す図である。

【図16】本発明の実施例を示し、物理空間での手先の軌道の一例を示す図である。

【図17】本発明の実施例を示し、関節角度空間で平滑化を行った手先の軌道の一例を示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0012】

以下、図面を用いて実施例を説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一部には原則として同一符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。本実施例で

50

は、本発明の基本の形態となる軌道計画装置の一例を説明する。

【0013】

＜システム構成＞

図1は、本発明が適用される計算機システムを示し、ロボットアームの軌道計画装置100及び周辺機器を含む構成例を示すブロック図である。計算機システム全体は、軌道計画装置100と、入出力装置140を有する。ユーザは、入出力装置140の操作を通じて軌道計画装置100の機能を利用する。軌道計画装置100は、計算機（PC、サーバ等）で構成可能であり、例えばソフトウェアプログラム処理により本発明の特徴である機能（処理装置110の各処理部）を実現する。

【0014】

軌道計画装置100は処理装置110と、記憶装置120と、入出力インタフェース130などを有する。

【0015】

入出力装置140は、ユーザの操作により、計測データなどの入力を行う入力装置や基準形状引当結果などの出力を行う出力装置であり、例えばキーボード、マウス、ディスプレイ、プリンタ、スマートフォン、タブレット型PCなどがある。

【0016】

入出力インタフェース130は、入出力装置140とデータ交換などのインタフェース制御（周辺デバイス制御）の処理を行う構成要素である。本計算機システムでは、処理装置110の処理及び入出力インタフェース130の処理に基づいて、入出力装置140の画面で、グラフィカルユーザインタフェース（GUI）を提供し、各種の情報を表示する。

【0017】

処理装置110は、例えばCPU30、RAM10、ROM20等の公知または周知の要素により構成される。処理装置110は、本発明の特徴的な機能を実現する処理を行う構成要素であり、データ読込部201と、干渉判定部202と、逆運動学部203と、物理空間経路点間軌道計画部204と、関節角度空間軌道平滑化部205と、結果出力部206を有する。

【0018】

なお、軌道計画装置100は、図示はしないが、OS、ミドルウェア、アプリケーションなどの公知の要素を有し、特にディスプレイなどの入出力装置140にGUI画面を表示するための既存の処理機能を含む。処理装置110は、上記の処理機能を用いて、所定の画面を描画して表示する処理や、画面上でユーザから入力されるデータの処理などを行う。

【0019】

データ読込部201と、干渉判定部202と、逆運動学部203と、物理空間経路点間軌道計画部204と、関節角度空間軌道平滑化部205と、結果出力部206の各機能部はプログラムとしてRAM10にロードされる。

【0020】

CPU30は、各機能部のプログラムに従って処理を実行することによって、所定の機能を提供する機能部として稼働する。例えば、CPU30は、干渉判定プログラムに従って処理を実行することで干渉判定部202として機能する。他のプログラムについても同様である。さらに、CPU30は、各プログラムが実行する複数の処理のそれぞれの機能を提供する機能部としても稼働する。計算機及び計算機システムは、これらの機能部を含む装置及びシステムである。

【0021】

記憶装置120は、例えばHDDやSSD等の公知または周知の不揮発性記憶媒体により構成され、ロボットアーム構成記憶部301と、干渉物構成記憶部302と、開始関節角度記憶部303と、目標姿勢記憶部304と、経路点姿勢記憶部305と、軌道補間方法記憶部306と、軌道記憶部307を含む。各記憶部は、例えば、データベースやテー

10

20

30

40

50

ブルを有する。

【0022】

ロボットアーム構成記憶部301は、軌道計画や逆運動学などで用いるロボットアーム構成データ401を記憶する領域である。

【0023】

干渉物構成記憶部302は、軌道計画で行う干渉判定に用いる干渉物構成データ402を記憶する領域である。

【0024】

開始関節角度記憶部303は、軌道計画での開始点となる開始関節角度データ403を記憶する領域である。なお、関節角度は、ロボットアームの関節の軸回りの角度を示す。または、軸に連結された一对のリンクがなす角度としてもよい。

【0025】

目標姿勢記憶部304は、軌道計画での終了点となる目標姿勢データ404を記憶する領域である。

【0026】

経由点姿勢記憶部305は、軌道計画での経由点となる経由点姿勢データ405を記憶する領域である。

【0027】

軌道補間方法記憶部306は、各経由点間の軌道を計画するときに用いる軌道補間方法データ406を記憶する領域である。

【0028】

軌道記憶部307は、結果出力部206で出力される軌道データ407を記憶する領域である。

【0029】

なお、本実施例では、ロボットアームの構造や形状については特定しないが、例えば、6軸のロボットアームで、手先（先端）のマニピュレータで対象物を把持する例を想定する。また、ロボットアームは多軸であればよく、各軸（関節）は直列に配置され、各軸間はリンクで接続される。また、ロボットアームの先端はマニピュレータに限定されるものではなく、ドライバや溶接装置などの工具や機械で構成することができる。

【0030】

また、本実施例では、軌道や経由点は、ロボットアームの手先の位置と姿勢で構成される。ロボットアームの手先の位置は、ロボットアームを構成する複数の軸のうち先端の軸の位置を示す。ロボットアームの手先の姿勢は、ロボットアームを構成する複数の軸のうち先端の軸の角度（関節角度）を示す。以下の説明では、ロボットアームの位置や姿勢という記述は、ロボットアームの手先の位置と姿勢を示す。

【0031】

<フローチャート>

図2は、軌道計画処理の一例を示すフローチャートである。このフローチャートの各ステップの内容を、図13、図14、図15、図16を用いて説明する。なお、以下の説明では、各機能部を処理の主体として説明するが、上述のようにCPU30を処理の主体としてもよい。この処理は、例えば、軌道計画装置100のユーザが入出力装置140から所定の指令を入力した場合に開始される。

【0032】

ステップS101ではデータ読込部201が、ユーザが入出力装置140にて入力する情報を基に、ロボットアーム構成記憶部301にロボットアーム構成データ401を格納し、干渉物構成記憶部302に干渉物構成データ402を格納し、開始関節角度記憶部303に開始関節角度データ403を格納し、目標姿勢記憶部304に目標姿勢データ404を格納し、経由点姿勢記憶部305に経由点姿勢データ405を格納し、軌道補間方法記憶部306に軌道補間方法データ406をそれぞれ格納する。

【0033】

なお、本実施例では前述のデータをユーザが入出力装置 140 を経由して入力することを想定しているが、過去の入力データをはじめとした、すでに生成済みのデータを処理装置 110 へ読み込ませるようにしてもよい。

#### 【0034】

本ステップにおける入力データに関して図 13 を基に説明する。図 13 は、入力データの一例を表した図であり、ロボットアームが稼働する実空間（物理空間）のうち X-Y 平面での軌道を示す図である。

#### 【0035】

X-Y 平面において、開始関節角度データとして P1 が設定され、目標データとして P5 が設定される。P1 から P5 へ向かう途中の経由点姿勢データとして P2、P3、P4 が設定される。

10

#### 【0036】

また、軌道補間方法として、（P1、P2、直線（Straight）、平滑化しない（Smoothing=False））、（P2、P3、曲線、平滑化する）、（P3、P4、曲線、平滑化する）、（P4、P5、直線、平滑化しない）という情報が与えられた場合を想定している。この例では、ロボットアームの手先が、P1 から P2、P3、P4 を経由して P5 まで移動する場合の軌道計画をすることが目標である。

#### 【0037】

なお、図示の例では、点 P1 から点 P2 の区間の軌道を部分軌道 T1 として扱い、他の経由点間についても同様に部分軌道 T2～T4 とする。なお、本実施例では、経由点姿勢データ 405 で隣り合う姿勢 ID 451 をひとつの部分軌道 Ti として扱う。

20

#### 【0038】

ステップ S102 では、物理空間経由点間軌道計画部 204 が、軌道記憶部 307 に格納されている軌道データ 407 を取得し、格納されている軌道がすでに目標姿勢データ 404 に到達しているかを判定する。物理空間経由点間軌道計画部 204 は、すべての経由点間を通る軌道が算出されていればステップ S104 へ進み、未処理の区間があればステップ S103 へ進む。

#### 【0039】

ステップ S103 では、物理空間経由点間軌道計画部 204 が、記憶装置 120 に格納されている必要なデータを用いて、軌道データ 407 の形式に従って部分軌道を算出し、軌道記憶部 307 に格納されている軌道データ 407 に追記する。なお、本ステップ S103 の詳細は後述する。

30

#### 【0040】

本ステップ S103 での出力に関して、図 14 を用いて説明する。図 14 は、図 13 で示した入力に対して、それぞれの部分軌道で軌道計画を実施した結果をロボットアームの関節角度空間で表示した結果である。

#### 【0041】

例えば、部分軌道 T1（P1、P2）に対しては、図 13 に示した物理空間上で直線軌道（Straight）が割当てられており、その直線軌道を実現するために、関節角度空間では  $\theta 1$ 、 $\theta 2$  を接続する曲線のような軌道になる。

40

#### 【0042】

他の部分軌道に関しても同様であり、多くのロボットアームでは、物理空間で手先の軌道が曲線や直線であっても、関節角度空間では同じようにはならない。また、物理空間上では滑らかな線上を手先が動いている場合でも、関節角度空間上では経由姿勢などで滑らかに接続されない場合もある。

#### 【0043】

図 14 では、関節角度空間のうち軸 J1 を横軸に配置し、軸 J2 を縦軸に配置した例を示す。関節角度空間は、ロボットアームの軸の数に応じた多次元空間であり、例えば、6 軸のロボットアームの場合、軸 J1～軸 J6 の 6 次元で表現される。

#### 【0044】

50



ステップ S 1 0 4 では、関節角度空間軌道平滑化部 2 0 5 が、軌道記憶部 3 0 7 に格納されている軌道データ 4 0 7 に対して、関節角度空間において、平滑化を適用することで、軌道データ 4 0 7 を修正する。なお、本ステップ S 1 0 4 の詳細は後述する。

#### 【0045】

本ステップ S 1 0 4 での処理の概要に関して、図 1 5、図 1 6 を用いて説明する。図 1 4 に示した通り、軌道を複数接続した場合、関節角度空間上では滑らかに接続されない場合がある。本ステップでは、これらを滑らかに接続する処理を実施する。

#### 【0046】

図 1 5 は、平滑化可否の情報を用いて、平滑化を施してよい軌道を選択し、関節角度空間上で滑らかに接続されるように補正された軌道である。図 1 5 は、上記図 1 4 と同様に、関節角度空間のうち軸 J 1、軸 J 2 を表した図である。本処理により、複数の部分軌道 T 1 ~ T 4 で構成される軌道は、経由点 (P 2 ~ P 4) を通過して、関節角度空間上で滑らかに接続される。

#### 【0047】

図 1 6 は、図 1 5 の関節角度空間上での軌道から、物理空間での手先の軌道を計算した図である。図 1 6 の実線に示す通り、本処理により、入力された経由点を通りつつ、物理空間上でも滑らかに接続された軌道が得られる。

#### 【0048】

ステップ S 1 0 5 では、制御時刻付与部 2 0 7 が、軌道データ 4 0 7 に対して、制御時刻 4 7 6 を各軌道点に対してそれぞれ付与する。また、制御時刻付与部 2 0 7 は、制御時刻 4 7 6 を付与した軌道データ 4 0 7 に対して、制御時刻 4 7 6 に応じた間接角速度情報 4 7 3 と間接角加速度情報 4 7 4 を算出する。この制御時刻 4 7 6 を付与するためには、ロボットアームの各関節の速度や角速度の制約を満たして行う必要があるが、この方法の一例として次の文献に記載された技術を適用することができる。「Time-Optimal Parabolic Interpolation with Velocity, Acceleration, and Minimum-Switch-Time Constraints」、Puttichai Lertkultanon and Quang-Cuong Pham、Published online: 16 Jul 2016。

#### 【0049】

ステップ S 1 0 6 では、結果出力部 2 0 6 が、記憶装置 1 2 0 に格納されているデータを基に G U I ( G r a p h i c a l U s e r I n t e r f a c e ) を生成し、入出力装置 1 4 0 に表示する。

#### 【0050】

上記処理によって、関節角度空間軌道平滑化部 2 0 5 が経由点間の部分軌道に対して関節角度空間での平滑化処理を導入することで、ロボットアームの手先姿勢の変化を最小化しつつ、ロボットアームが高速に動作可能な軌道を生成することが可能となる。

#### 【0051】

＜ロボットアーム構成データ＞

図 3 は、ロボットアーム構成記憶部 3 0 1 に記憶するロボットアーム構成データ 4 0 1 の一例を示す図である。ロボットアーム構成データ 4 0 1 は、分類 4 1 1 と、項目 4 1 2 と、例 4 1 3 からひとつのエントリが構成される。分類 4 1 1 は、関節情報と、リンク情報の分類が含まれる。

#### 【0052】

関節情報とは、ロボットアームを構成する各関節の情報であり、項目 4 1 2 として関節名、関節の種類、関節の位置、関節の向き、関節の動作下限、関節の動作上限、最大加速度、最大速度などの情報が含まれる。

#### 【0053】

リンク情報とは、ロボットアームを構成するリンクの構成を表す情報であり、項目 4 1 2 としてリンク名、親関節名、子関節名、リンク形状が含まれる。リンク形状とは、リンクの実際の形状であり、例えば、S T E P (Standard for the Exchange of Product model data) などのフォーマットで保存されるソリッドデータや、S T L (STereoLithograp

10

20

30

40

50

hy)などのフォーマットで保存されるポリゴンデータなどの3次元モデルデータである。

【0054】

なお、例413には、各項目412対応する値が設定される。ロボットアーム構成データ401は、ロボットアームの製造元などによって予め設定されたデータを用いることができる。

【0055】

＜干渉物構成データ＞

図4は、干渉物構成記憶部302に格納される干渉物構成データ402の一例を示す図である。干渉物構成データ402は、干渉物ID421と、干渉物形状422と、干渉物姿勢423をひとつのエントリに含む。

10

【0056】

干渉物形状422は、干渉物の形状を示すものであり、例えばSTEPなどのフォーマットで保存されるソリッドデータや、STLなどのフォーマットで保存されるポリゴンデータなどの3次元モデルデータである。

【0057】

干渉物姿勢423は、干渉物が空間上のどの位置に置かれるかを示す情報であり、AFFINE変換行列や、3次元空間上での位置と、Roll-Pitch-Yawなどで表される姿勢を示す情報である。例えば、干渉物ID421＝「COL1」の干渉物姿勢423は、(0, 0, 1)が位置を示し、(0, 0, 0)が姿勢を示す。

【0058】

20

＜開始関節角度データ＞

図5は、開始関節角度記憶部303に格納される開始関節角度データ403の一例を示す図である。開始関節角度データ403は、関節名431と、開始関節角度432をひとつのエントリに含む。

【0059】

関節名431は、ロボットアーム構成データ401に含まれる関節情報内の関節名と対応するものである。開始関節角度432には、関節の角度が設定される。

【0060】

＜目標姿勢データ＞

図6は、目標姿勢記憶部304に格納される目標姿勢データ404の一例を示す図である。目標姿勢データ404は、姿勢ID441と、対象リンク名442と、姿勢情報443とをひとつのエントリに含む。

30

【0061】

姿勢ID441には、ロボットアームの手先の位置及び姿勢を特定する識別子が設定される。対象リンク名442には、ロボットアーム構成データ401に含まれるリンク情報内のリンク名が格納される。

【0062】

また、姿勢情報443は、AFFINE変換行列や、3次元空間上での位置及びRoll-Pitch-Yawなどで表される姿勢を示す情報である。例えば、姿勢ID441＝「POSE001」の姿勢情報443は、(0, 0, 1)が位置を示し、(0, 0, 0)が姿勢を示す。

40

【0063】

＜経路点姿勢データ＞

図7は、経路点姿勢記憶部305に格納される経路点姿勢データ405の一例を示す図である。経路点姿勢データ405は、姿勢ID451と、対象リンク名452と、姿勢情報453とをひとつのエントリに含む。

【0064】

姿勢ID451には、ロボットアームの手先の位置及び姿勢を特定する識別子が設定される。対象リンク名452は、ロボットアーム構成データ401に含まれるリンク情報内のリンク名が格納される。また、姿勢情報は、AFFINE変換行列や、3次元空間上で

50

の位置とそのときのRoll-Pitch-Yawなどで表される姿勢を示す情報である。例えば、姿勢ID451＝「POSE002」の姿勢情報453は、(0, 0, 1)が位置を示し、(0, 0, 0)が姿勢を示す。

#### 【0065】

##### <軌道補間方法データ>

図8は、軌道補間方法記憶部306に格納される軌道補間方法データ406の一例を示す図である。軌道補間方法データ406は、開始姿勢ID361と、終了姿勢ID362と、軌道算出方法363と、平滑化可否364をひとつのエントリに含む。

#### 【0066】

開始姿勢ID361、及び終了姿勢ID362は、経由点姿勢データ405の姿勢ID451や、目標姿勢データ404の姿勢ID441に対応する。

#### 【0067】

軌道算出方法463は、開始姿勢ID361から及び終了姿勢ID362までの部分軌道Tで、関節角度空間で軌道を算出(補間)する方法が格納される。算出方法としては、例えば、スプライン曲線、NURBS曲線、ベジエ曲線といった曲線パターンや、曲線を表す数式や直線を指定する記述が含まれる。

#### 【0068】

平滑化可否364は、開始点(開始姿勢ID461)から終了点(終了姿勢ID462)までの部分軌道を、関節角度で平滑化するか否かを示すフラグである。

#### 【0069】

軌道補間方法データ406は、経由点姿勢データ405で指定された経由点間で構成される部分軌道Tiについて、関節角度空間で軌道を算出する方法(463)と、関節角度空間での円滑化を実施するか否かを示す情報(464)を予め設定したテーブルである。

#### 【0070】

##### <軌道データ>

図9は、軌道記憶部307に格納される軌道データ407の一例を示す図であり、軌道計画装置100の出力に相当する。軌道データ407は、軌道点ID471と、関節角度情報472と、関節角速度情報473と、関節角加速度情報474と、平滑化可否475と、制御時刻476をひとつのエントリに含む。

#### 【0071】

軌道点ID471は、ロボットアームの手先が通過する位置の識別子が格納される。関節角度情報472は、軌道点ID471の位置における関節角度の集合であり、関節名とその関節値の集合である。

#### 【0072】

関節角速度情報473、関節角加速度情報474も同様に、関節名と軌道点ID471の位置における角速度、角加速度の情報である。平滑化可否475は、関節角度空間軌道平滑化部205が利用する情報であり、関節角度で平滑化を実行して関節角度情報を補正してよいのか否かを示すフラグである。「TRUE」が平滑化可能を示し、「FALSE」が平滑化付加を示す。

#### 【0073】

制御時刻476は、ロボットアームの速度の制約や、加速度の制約に基づいて算出された軌道点ID471の制御を実施する時刻(相対的な時刻)が格納される。

#### 【0074】

##### <部分軌道算出処理>

図10は、図2のステップS103で行われる、物理空間経由点間軌道計画部204が実行する処理の一例を示すフローチャートである。以下、本フローチャートを説明する。

#### 【0075】

ステップS201では、物理空間経由点間軌道計画部204が、開始関節角度、及び終了姿勢を取得する。開始関節角度は、軌道データ407に含まれている最後に追加された軌道点ID471に対応する関節角度情報472より取得する。

10

20

30

40

50

## 【0076】

また、軌道計算に必要な軌道の開始位置や終了位置などのデータは、上記ステップS101で入力されたデータを用いるものとする。終了姿勢は、目標姿勢データ404の姿勢情報443から設定される。

## 【0077】

ステップS202では、物理空間経由点間軌道計画部204が、終了姿勢ID462に対応する軌道補間方法データ406から、軌道算出方法463を取得する。

## 【0078】

ステップS203では、物理空間経由点間軌道計画部204が、経由点姿勢データ405で対象とする対象リンク名452の、開始関節角度データ403における開始姿勢P1を計算する。この開始姿勢P1は、ロボットアーム構成データ401の情報をを用いて、順運動学により容易に算出できる。

10

## 【0079】

ステップS204では、物理空間経由点間軌道計画部204が、開始姿勢P1から、終了姿勢Pnまでを、取得した軌道算出方法463に従って開始姿勢ID461と終了姿勢ID462をひとつの部分軌道として分割する。

## 【0080】

説明の便宜上、姿勢情報の位置に関する情報をO、姿勢に関する情報をQとする。例えば、軌道算出方法463として直線(Straight)が指定された場合、物理空間経由点間軌道計画部204は、開始姿勢P1から終了姿勢Pnまでの各分割点Piに対応するOi、Qiは以下のように算出する。

20

## 【0081】

【数1】

$$\begin{aligned} O_i &= (1-t)O_1 + tO_n \\ Q_i &= \text{Slerp}(Q_1, Q_n, t) \end{aligned}$$

## 【0082】

ここで、Slerpとは球面補間を意味し、tは0から1の等間隔の値を意味する。また、軌道算出方法463として3次のベジエ曲線(BEZIER)が指定された場合、二つの制御点を、A、Bとすると、各分割点Piに対応するOi、Qiは以下のように算出する。

30

## 【0083】

【数2】

$$\begin{aligned} O_i &= (1-t)^3 O_1 + 3t(1-t)^2 A + 3t^2(1-t) B + t^3 O_n \\ Q_i &= \text{Slerp}(Q_1, Q_n, t) \end{aligned}$$

## 【0084】

物理空間経由点間軌道計画部204は、上記の式を用いることで、手先姿勢の変化を最小にしつつ、物理空間上を指定された方法の通りに動く軌道が得られる。

40

## 【0085】

ステップS205では、物理空間経由点間軌道計画部204が、ステップS206からS210までの処理を、分割点の数だけループして実行する。

## 【0086】

ステップS206では、物理空間経由点間軌道計画部204が、軌道データ407に含まれている最後に追加された軌道点ID471に対応する関節角度情報472を取得し、この関節角度を始点として、分割点姿勢Pi+1になる関節角度θi+1を、逆運動学部203を用いて計算する。

## 【0087】

50

逆運動学部 203で行う処理は、以下の文献のような収束計算による方法を一例として用いることができる。「Solvability-unconcerned Inverse Kinematics based on Levenberg-Marquardt method with Robust Damping」(Tomomichi Sugihara、School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University)

#### 【0088】

ステップ S 207では、物理空間経由点間軌道計画部 204が、上記ステップ S 206で得られた関節角度  $\theta_{i+1}$  と、ロボットアーム構成データ 401と、干渉物構成データ 402を用いて、計算された関節角度  $\theta_{i+1}$  において干渉物との接触が無いかを干渉判定部 202により判定する。

#### 【0089】

干渉判定部 202は、ロボットアーム構成データ 401の 3次元モデルデータと、ロボットアームの手先の位置及び姿勢と、干渉物構成データ 402の 3次元モデルデータと位置に基づいて干渉の有無を判定する。なお、干渉の判定については周知または公知の技術を適用すればよいので、本実施例では詳述しない。

#### 【0090】

ここで、干渉判定部 202が行う処理は、障害物とロボットアームが接触するかしないかの判定だけでなく、障害物とロボットアームの距離を基に所定のクリアランスを閾値とし、クリアランスが閾値未満であれば干渉ありと判定してもよい。

#### 【0091】

ステップ S 208では、物理空間経由点間軌道計画部 204が、上記ステップ S 207での干渉判定結果を基に処理の分岐を行い、干渉が無ければステップ S 209へ進み、干渉があればステップ S 211へ進む。

#### 【0092】

ステップ S 209では、物理空間経由点間軌道計画部 204が、上記ステップ S 207で得られた関節情報  $\theta_{i+1}$  を、軌道データ 407に対して、軌道点 ID 471、関節角度情報 472、平滑化可否 475として追加する。この場合、平滑化可否 475は、軌道補間方法データ 406に含まれる平滑化可否 464を基に設定される。また、制御時刻 476は、上記ステップ S 105の処理で設定される。

#### 【0093】

なお、本実施例の軌道データ 407では、関節角度情報 472等は 6軸のロボットアームの例を示すが、これに限定されるものでなく、ロボットアームの軸数に応じた次元とすればよい。

#### 【0094】

ステップ S 211では、物理空間経由点間軌道計画部 204が、干渉があった場合、軌道計画に失敗したことを示す情報を入出力装置 140に表示して処理を終了する。

#### 【0095】

上記処理により、指定された開始位置から終了位置までの軌道は、開始姿勢 P1～終了姿勢 Pnまでの部分軌道に分割されて、部分軌道ごとに指定された軌道算出方法 363で軌道データ 407が算出されて、軌道点 ID 471毎に物理空間における関節角度  $\theta_i$  が決定される。

#### 【0096】

＜軌道平滑化処理＞

図 11は、図 2のステップ S 104で関節角度空間軌道平滑化部 205が実行する、軌道平滑化処理の一例を示すフローチャートである。

#### 【0097】

本処理により、ロボットアームが円滑に作動するよう軌道データ 407内の関節角度情報 472が更新されることで、ロボットアームの各軸での角度変化が小さくなる。これにより、制御時刻付与部 207が行う制御時刻付与処理において、関節角速度や関節角加速度の制約の順守が容易になり、ロボットアームの動作速度が向上する。

#### 【0098】

また、部分軌道が接続する点  $P_i$ （経由点）において、関節角速度や関節角加速度の変化（差分）が一致または最小化されて、部分軌道間の繋ぎ目が滑らかになる効果を有する。なお、関節角度空間軌道平滑化部 205 は、隣り合う部分軌道  $T_i$  を接続する経由点（ $P_i$ ）で、隣接する部分軌道の角速度又は角加速度を一致させるようにしてもよい。

【0099】

以下、本フローチャートを説明する。

【0100】

ステップ S301 では、関節角度空間軌道平滑化部 205 が、軌道内の各軌道点についてステップ S302 の処理を、平滑化が完了するまでループ処理をする。このループ処理は、軌道内の各軌道点の処理が完了するまでステップ S313 との間で繰り返す。

10

【0101】

ステップ S302 では、関節角度空間軌道平滑化部 205 が、軌道データ 407 から、平滑化可否 475 を基に、平滑化不可に挟まれる平滑化可能な軌道点の集合を取得する。

【0102】

ステップ S303 では、関節角度空間軌道平滑化部 205 が、ステップ S304 からステップ S312 までの処理に関して、上記ステップ S302 で取得した平滑化不可に挟まれる平滑化可能な軌道点の集合の数だけループ処理を行う。

【0103】

ステップ S304 では、関節角度空間軌道平滑化部 205 が、平滑化可能な軌道点を挟む平滑化不可である軌道点の情報に基づき、平滑化対象の軌道点間について関節角度空間上での補間曲線  $S$  を計算する。

20

【0104】

本ステップを図 17 を用いて説明する。図 17 は、関節角度空間で平滑化を行った手先の軌道点の一例を示す図である。平滑化対象の軌道点における関節角度を  $\theta - 2 \sim \theta \sim \theta + 2$  とする。図中補間曲線  $S$  が、平滑化対象の軌道点間について関節角度空間上で算出された曲線である。

【0105】

平滑化対象の部分の前後にある平滑化不可な軌道点の関節角度を  $\theta_a$ 、 $\theta_b$  とする。この関節角度値と、その前後の関節角度  $\theta_a - 1$ 、 $\theta_b + 1$  の値から、以下の制約を満たす補間方程式  $F(t)$  を計算する。

30

【0106】

【数 3】

$$\begin{aligned} F(0) &= \theta_a \\ F(1) &= \theta_b \\ F'(0) &= \theta_a - \theta_{a-1} \\ F'(1) &= \theta_{b+1} - \theta_b \\ F''(0) &= F''(1) = 0 \end{aligned}$$

40

【0107】

上記の例は、区間  $[\theta_a - 1, \theta_a]$  と、 $[\theta_b, \theta_b + 1]$  を直線とした場合の補間曲線における制約である。この補間曲線の求め方は一例であり、例えば、すべての平滑化不可の軌道点に対応する関節角度値を通る 3 次元のスプライン補間曲線のうち、この区間に該当するものなどでもよい。

【0108】

ステップ S305 では、関節角度空間軌道平滑化部 205 が、ステップ S303 で対象とする部分に含まれる平滑化可能な軌道点の数だけループ処理を行う。このループ処理は、ステップ S311 までの間で繰り返される。

【0109】

50

ステップ S 3 0 6 では、関節角度空間軌道平滑化部 2 0 5 が、軌道点 ( $\theta_i$ ) を補間曲線 S 上に動かす方向  $d_i$  を計算し、 $d_i$  に向かって移動させた新たな軌道点 ( $\theta'_i$ ) を計算する。なお、以下の説明では、図 1 7 の関節角度  $\theta_i$  に対応する軌道点を軌道点 ( $\theta_i$ ) で表す。

#### 【0110】

軌道点 ( $\theta_i$ ) 及び軌道点 ( $\theta'_i$ ) の計算結果は、図 1 7 に示した通りになる。このステップで一度に軌道点 ( $\theta'_i$ ) を補間曲線 S 上に移動させた場合、移動先で干渉物との干渉があると平滑化されない。そのため、少しずつ移動させていく必要がある。すなわち、関節角度空間軌道平滑化部 2 0 5 は、軌道点 ( $\theta_i$ ) から所定の距離ずつ方向  $d_i$  へ軌道点 ( $\theta'_i$ ) を移動させ、最終的に補間曲線 S 上の軌道点 ( $\theta'_i$ ) へ移動させる。

10

#### 【0111】

ステップ S 3 0 7 では、関節角度空間軌道平滑化部 2 0 5 が、干渉判定部 2 0 2 を用いて、更新予定である関節角度 ( $\theta'_i$ ) の位置で、ロボットアームが干渉物との干渉が無いかを判定する。

#### 【0112】

ステップ S 3 0 8 では、関節角度空間軌道平滑化部 2 0 5 が、干渉の有無により処理を分岐する。干渉が無ければステップ S 3 0 9 へ進み、干渉があればステップ S 3 1 0 へ進む。

#### 【0113】

ステップ S 3 0 9 では、関節角度空間軌道平滑化部 2 0 5 が、該当する軌道点の関節角度  $\theta_i$  を  $\theta'_i$  へ更新する。

20

#### 【0114】

一方、ステップ S 3 1 0 では、関節角度空間軌道平滑化部 2 0 5 は、干渉が発生したので、現在の軌道点に対する平滑化可否 4 7 5 を「F A L S E」へ変更する。つまり、ロボットアームを補間曲線 S 上で動かすと干渉するような軌道点が新たに固定点となるため、以降のステップ S 3 0 4 で行われる補間曲線が変化ようになる。

#### 【0115】

上記処理によって、図 1 7 で示したように、平滑化不可の軌道点 ( $\theta_a$ 、 $\theta_b$ ) に挟まれる平滑化可能な軌道点 ( $\theta_i$ ) は、干渉物との干渉を判定しながら徐々に補間曲線 S 上の軌道点 ( $\theta'_i$ ) に移動し、関節角度空間上で滑らかな軌道を得ることができる。

30

#### 【0116】

このように、物理空間経路点間軌道計画部 2 0 4 で生成した軌道を、逆運動学部 2 0 3 で関節角度空間に変換した軌道に平滑化を実施することで、ロボットアームの各軸の角速度や角加速度の急変や過大な変動を抑制することが可能になる。これにより、ロボットアームの手先姿勢の変化を最小化しながらも、複数の経路点を高速に移動可能なロボットアームの軌道を算出することができる。

#### 【0117】

<出力画面>

図 1 2 は、軌道計画装置 1 0 0 の出力となる出力画面 1 0 5 の一例を示す図である。出力画面 1 0 5 には、入力データを読み込む読み込みボタン (図中「読込」) 1 0 1 と、軌道計算を実行させる計算開始ボタン (図中「計算開始」) 1 0 2 と、軌道の計算結果を示す表 1 0 3 と、ロボットアームの動きを表示するシミュレート領域 1 0 4 が含まれる。

40

#### 【0118】

読み込みボタン 1 0 1 をマウスなどで操作することにより、入出力インタフェース 1 3 0 を介して入力された入力データが、R A M 1 0 へ読み込まれる。計算開始ボタン 1 0 2 の操作により、軌道計画装置 1 0 0 では軌道計画計算が実行され、シミュレート領域 1 0 4 と表 1 0 3 が生成される。

#### 【0119】

表 1 0 3 には、例えば、平滑化の処理回数と、平滑化による動作時間が表示される。ま

50

た、表内の動作再生ボタンを操作することで、シミュレート領域１０４でロボットアームの動作を視認することができる。

#### 【０１２０】

以上に説明したように。本システム（多軸ロボットアームの軌道計画装置１００）によれば、指定された経由点を通り、かつ、手先姿勢を滑らかに接続し、ロボットアームが円滑に動作しやすい軌道を生成することが可能となる。

<結び>

#### 【０１２１】

以上のように、上記実施例の軌道計画装置は以下の構成とすることができる。

#### 【０１２２】

（１）プロセッサ（ＣＰＵ３０）とメモリ（ＲＡＭ１０）を有して、多軸で構成されたロボットアームの手先の軌道を算出する軌道計画装置（１００）であって、ロボットアームの構成と、ロボットアームの関節を構成する軸の位置及び軸の姿勢を含むロボットアーム構成情報（ロボットアーム構成データ４０１）と、計画する軌道の開始姿勢における前記ロボットアームの各軸の角度を開始関節角度（４３２）として設定された開始関節角度情報（開始関節角度データ４０３）と、前記ロボットアームの手先の終点で、目標位置と、前記ロボットアームの手先の目標姿勢（姿勢情報４４３）が設定された目標姿勢情報（目標姿勢データ４０４）と、計画する軌道内で前記ロボットアームの手先が通過する位置と姿勢を含む経由点を設定された経由点姿勢情報（経由点姿勢データ４０５）と、前記ロボットアーム構成情報（４０１）と、前記開始関節角度情報（４０３）と、前記目標姿勢情報（４０４）と、前記経由点姿勢情報（４０５）を読み込んで、ロボットアームの手先の開始点から終点までの軌道を、前記経由点間を補間して生成する物理空間経由点間軌道計画部（２０４）と、前記ロボットアーム構成情報（４０１）に基づいて、前記ロボットアームの手先の姿勢及び位置から各軸の関節角度を算出する逆運動学部（２０３）と、前記物理空間経由点間軌道計画部（２０４）で生成された前記軌道を、前記逆運動学部（２０３）で関節角度空間に変換してから当該軌道を平滑化する関節角度空間軌道平滑化部（２０５）と、を有する。

#### 【０１２３】

上記構成により、軌道計画装置１００は、物理空間経由点間軌道計画部２０４で生成した軌道を、逆運動学部２０３で関節角度空間に変換した軌道に平滑化を実施することで、ロボットアームの各軸の角速度や角加速度の急変や過大な変動を抑制することが可能になる。これにより、ロボットアームの手先姿勢の変化を最小化しながらも、複数の経由点を高速に移動可能なロボットアームの軌道を算出することができる。

#### 【０１２４】

（２）上記（１）に記載の軌道計画装置であって、前記関節角度空間軌道平滑化部（２０５）で平滑化された軌道に対して、当該軌道の経由点を通り、時刻を付与する軌道時刻付与部（２０７）を、さらに有する。

#### 【０１２５】

上記構成により、ロボットアームの手先姿勢の変化が最小化されているため、軌道計画装置１００は、ロボットアームの速度（角速度）の制約や加速度（角加速度）の制約を満たした円滑な軌道を算出できる。

#### 【０１２６】

（３）上記（１）に記載の軌道計画装置（１００）であって、隣り合う経由点間を部分軌道として当該部分軌道における平滑化の可否を示す平滑化可否情報（４６４）と、当該平滑化を行う際の補間方法（４６３）を設定した軌道補間情報（軌道補間方法データ４０６）を、さらに有し、前記関節角度空間軌道平滑化部（２０５）は、前記軌道補間情報（４０６）を参照して、軌道を算出する対象の部分軌道の平滑化可否情報（４７５）が可であれば前記補間方法に基づいて前記軌道を補完する。

#### 【０１２７】

上記構成により、平滑化可否４７５が「可」の部分軌道では、指定された軌道算出方法

10

20

30

40

50



363で関節角度空間での平滑化が行われる。れにより、軌道計画装置100は、ロボットアームの手先姿勢の変化を最小化しながらも、複数の経由点を高速に移動可能なロボットアームの軌道を算出することができる。

#### 【0128】

(4) 上記(1)に記載の軌道計画装置(100)であって、前記ロボットアーム構成情報(401)は、ロボットアームの3次元モデル情報を含み、前記ロボットアームの周囲に配置された干渉物の3次元モデル情報及び位置を含む干渉物構成情報(402)と、前記物理空間経由点間軌道計画部(204)又は前記関節角度空間軌道平滑化部(205)で算出された軌道について、前記ロボットアーム構成情報(401)と前記干渉物構成情報(402)を参照して前記ロボットアームが前記干渉物と干渉するか否かを判定する干渉判定部(202)と、をさらに有する。

10

#### 【0129】

上記構成により、軌道計画装置100は、ロボットアームが干渉物に干渉する軌道を回避して、円滑な軌道を算出することができる。

#### 【0130】

(5) 上記(2)に記載の軌道計画装置(100)であって、隣り合う経由点間を部分軌道として当該部分軌道における平滑化の可否を示す平滑化可否情報(475)と、当該平滑化を行う際の補間方法を設定した軌道補間情報(406)を、さらに有し、前記軌道時刻付与部(207)は、隣り合う前記部分軌道の経由点において、隣接する部分軌道の速度又は角加速度を一致させる。

20

#### 【0131】

上記構成により、軌道計画装置100は、部分軌道が接続する点 $P_i$ (経由点)において、ロボットアームの角速度や角加速度の変化が一致または最小化されて、部分軌道間の繋ぎ目が滑らかになり、ロボットアームの円滑な動作を実現することが可能となる。

#### 【0132】

なお、本発した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

30

#### 【0133】

また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、上記の各構成、機能等は、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現してもよい。各機能を実現するプログラム、テーブル、ファイル等の情報は、メモリや、ハードディスク、SSD(Solid State Drive)等の記録装置、または、ICカード、SDカード、DVD等の記録媒体に置くことができる。

#### 【0134】

また、制御線や情報線は説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。実際には殆ど全ての構成が相互に接続されていると考えてもよい。

40

#### 【符号の説明】

#### 【0135】

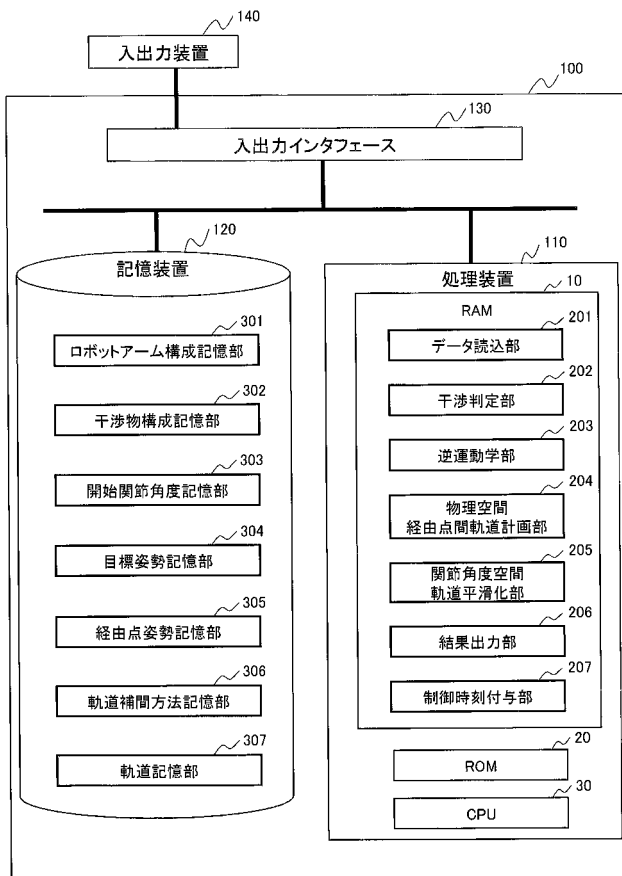
- 100 軌道計画装置
- 110 処理装置
- 120 記憶装置
- 130 入出力インタフェース
- 140 入出力装置
- 201 データ読込部

50

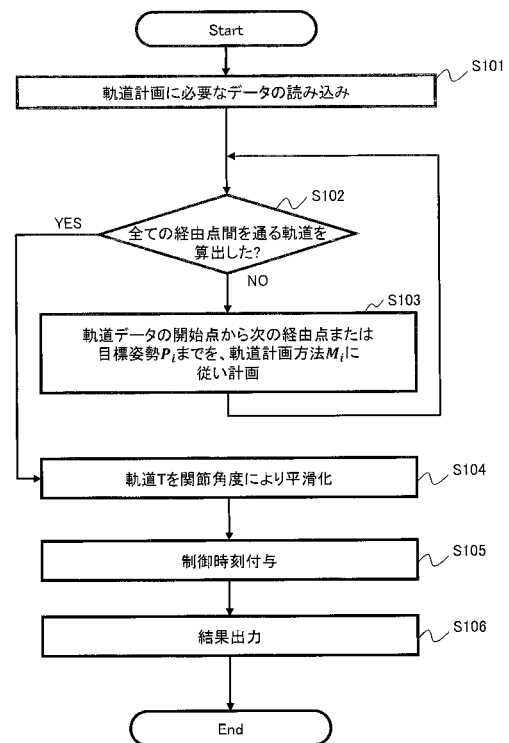
- 202 干渉判定部
- 203 逆運動学部
- 204 物理空間経由点間軌道計画部
- 205 関節角度空間軌道平滑化部
- 206 結果出力部
- 207 制御時刻付与部
- 301 ロボットアーム構成記憶部
- 302 干渉物構成記憶部
- 303 開始関節角度記憶部
- 304 目標姿勢記憶部
- 305 経由点姿勢記憶部
- 306 軌道補間方法記憶部
- 307 軌道記憶部

10

【図 1】



【図 2】



【図 3】

401 ロボットアーム構成データ

| 分類      | 項目      | 例           |
|---------|---------|-------------|
| 1 関節情報  | 関節名     | Joint1      |
|         | 関節の種類   | Rotation    |
|         | 関節の位置   | (0.1,0.2,0) |
|         | 関節の向き   | (0,0,1)     |
|         | 関節の動作下限 | -3.14       |
|         | 関節の動作上限 | 3.14        |
|         | 最大速度    | 0.3         |
|         | 最大加速度   | 0.5         |
| 9 リンク情報 | リンク名    | Link1       |
|         | 親関節名    | Joint1      |
|         | 子関節名    | Joint2      |
|         | リンク形状   | Link1.stl   |
|         | ...     | ...         |
|         | ...     | ...         |

【図 4】

402 干渉物構成データ

| 干渉物ID | 干渉物形状     | 干渉物姿勢                    | ... |
|-------|-----------|--------------------------|-----|
| COL1  | COL1.stl  | (0,0,1)(0, 0, 0)         |     |
| COL2  | COL2.step | (0.1, 0.2, 0)(0.1, 0, 0) |     |
| ...   |           |                          |     |

【図 5】

403 開始関節角度データ

| 関節名    | 開始関節角度 | ... |
|--------|--------|-----|
| Joint1 | 0.0    |     |
| Joint2 | 0.5    |     |
| ...    |        |     |

【図 6】

404 目標姿勢データ

| 姿勢ID    | 対象リンク名 | 姿勢情報             | ... |
|---------|--------|------------------|-----|
| POSE001 | Link6  | (0,0,1)(0, 0, 0) |     |

【図 7】

405 経由点姿勢データ

| 姿勢ID    | 対象リンク名 | 姿勢情報                     | ... |
|---------|--------|--------------------------|-----|
| POSE002 | Link1  | (0,0,1)(0, 0, 0)         |     |
| POSE003 | Link6  | (0.1, 0.2, 0)(0.1, 0, 0) |     |
| ...     |        |                          |     |

【図 8】

406 軌道補間方法データ

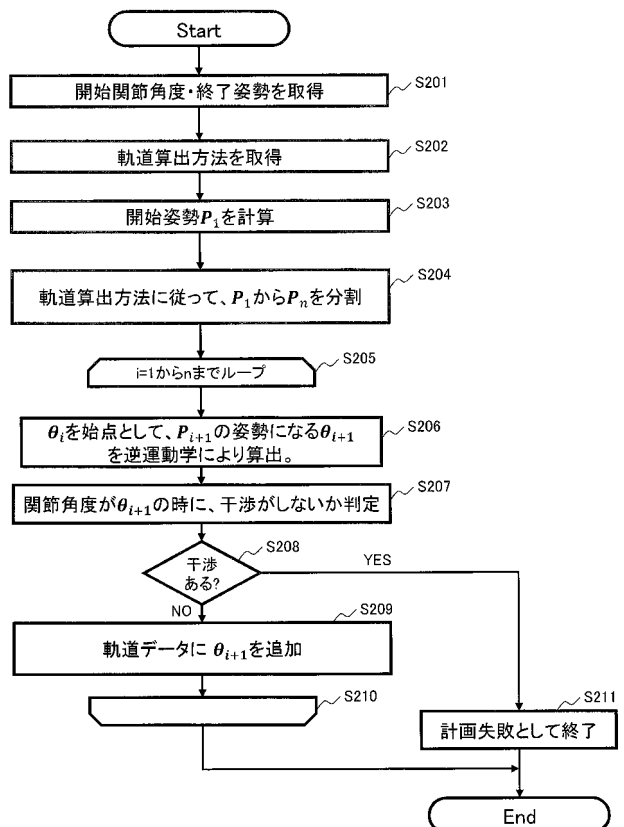
| 開始姿勢ID  | 終了姿勢ID  | 軌道算出方法   | 平滑化可否 | ... |
|---------|---------|----------|-------|-----|
| 開始点     | POSE002 | STREIGHT | FALSE |     |
| POSE003 | POSE001 | BEZIER   | TRUE  |     |
| ...     |         |          |       |     |

【図 9】

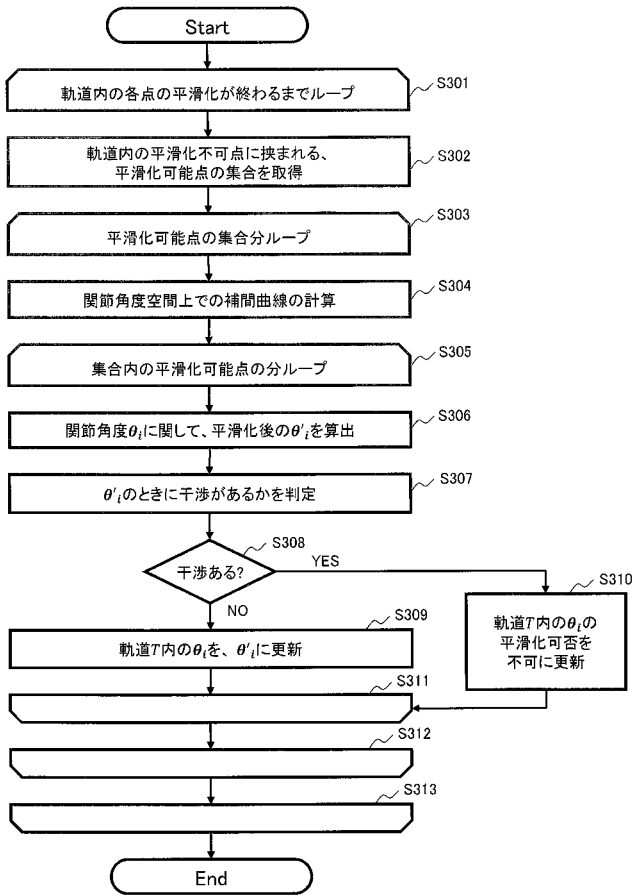
407 軌道データ

| 軌道点ID | 関節角度情報             | 関節角速度情報         | 関節角加速度情報                | 平滑化可否 | 制御時刻 | ... |
|-------|--------------------|-----------------|-------------------------|-------|------|-----|
| T001  | (0,0,0.2,1,0)      | (0,0,0,0,0)     | (0.9, 0.2, 0, 0, 0)     | FALSE | 0    |     |
| T002  | (0.1,0.3,-0.2,1,0) | (1.0,3.0,0,0,0) | (1.5, 1.1, 0.9, 0, 1.1) | TRUE  | 0.1  |     |
| ...   |                    |                 |                         |       |      |     |

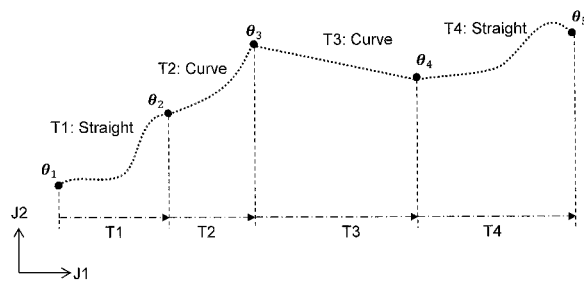
【図 10】



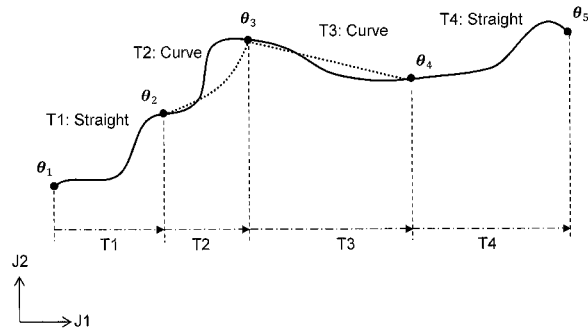
【図 1 1】



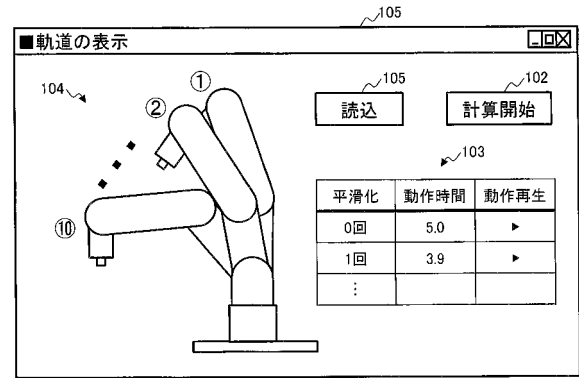
【図 1 4】



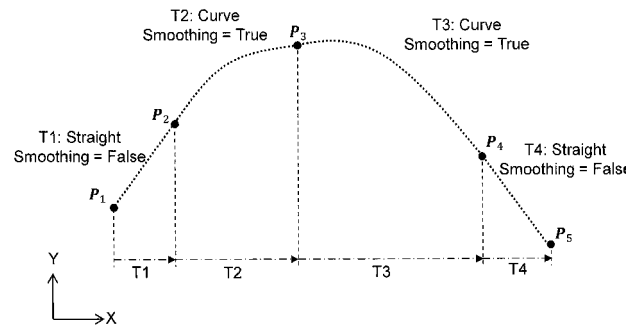
【図 1 5】



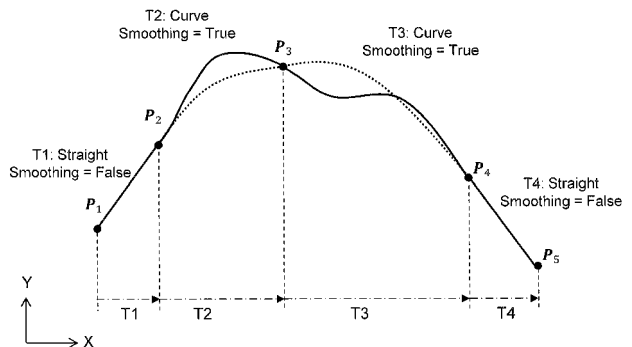
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 6】



【図 1 7】

