

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7399357号
(P7399357)

(45)発行日 令和5年12月15日(2023.12.15)

(24)登録日 令和5年12月7日(2023.12.7)

(51)国際特許分類

F I

B 2 5 J 9/10 (2006.01) B 2 5 J 9/10 A

請求項の数 15 (全31頁)

(21)出願番号	特願2023-534202(P2023-534202)	(73)特許権者	000006013
(86)(22)出願日	令和5年1月25日(2023.1.25)		三菱電機株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/002235		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
審査請求日	令和5年6月5日(2023.6.5)	(74)代理人	100118762
(31)優先権主張番号	特願2022-16096(P2022-16096)		弁理士 高村 順
(32)優先日	令和4年2月4日(2022.2.4)	(72)発明者	前川 清石
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
早期審査対象出願		(72)発明者	三菱電機株式会社内
			松岡 諒
			東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
			三菱電機株式会社内
		審査官	神山 貴行

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 軌道生成装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

制御対象が有する複数の軸のうちの動作開始点から動作終了点までの動作において予め記憶されている各軸の最高速度で動作した場合にかかる時間が最大となる最大移動軸を算出する最大移動軸算出手段と、

前記複数の軸が同期して動作する場合の、前記動作開始点から前記動作終了点までに前記制御対象が経過する経過点を生成する初期経過点算出手段と、

前記初期経過点算出手段によって生成された複数の前記経過点のうち、前記制御対象と周囲との干渉が発生する経過点を含む区間を抽出する干渉領域抽出手段と、

前記複数の軸のうちの前記最大移動軸算出手段によって算出された前記最大移動軸以外の軸である非最大移動軸の位置であって前記制御対象の位置を実現する前記位置を、前記干渉領域抽出手段で抽出された区間にある経過点での干渉が回避されるように修正することで前記干渉を回避する経過点を生成する非最大移動軸修正手段とを備え、

前記非最大移動軸修正手段で前記干渉を回避するように生成された経過点を通る軌道を前記制御対象が通る目標軌道とする

ことを特徴とする軌道生成装置。

【請求項2】

前記非最大移動軸修正手段は、
前記干渉領域抽出手段で抽出された前記区間である干渉領域内の経過点の前記非最大移動軸の位置を修正する経過点第1修正手段と、

干渉領域前後の前記非最大移動軸の位置を修正する経路点第2修正手段とを有することを特徴とする請求項1に記載の軌道生成装置。

【請求項3】

前記非最大移動軸修正手段は、前記複数の軸の各々の加速度又はトルクの制限を考慮して経路点の前記非最大移動軸の位置を修正する加減速考慮修正手段を有することを特徴とする請求項1に記載の軌道生成装置。

【請求項4】

前記非最大移動軸修正手段は、前記動作開始点から前記動作終了点までの前記制御対象の移動時間に基づいて、前記非最大移動軸の位置を前記干渉が起こらない位置に修正する方向を最適化する回避方向最適化手段を有することを特徴とする請求項1に記載の軌道生成装置。

【請求項5】

前記非最大移動軸修正手段は、前記非最大移動軸の移動速度の変動及びトルク制約を用いて、前記干渉を回避する経路点である回避点を最適化する回避点最適化手段を有することを特徴とする請求項1に記載の軌道生成装置。

【請求項6】

前記非最大移動軸修正手段は、前記干渉を回避するよう前記経路点を修正することで前記制御対象の移動速度を実現する前記非最大移動軸の移動速度が変化する場合に、前記加減速考慮修正手段が経路点の修正に用いる加減速時間であって各々の前記非最大移動軸の前記加減速時間を算出する加減速時間算出手段を更に有し、
前記加減速時間のうち最大値で前記非最大移動軸の移動速度が変化するよう経路点を修正することを特徴とする請求項3に記載の軌道生成装置。

【請求項7】

前記動作開始点から前記動作終了点までの前記制御対象の前記動作を分割すべきか否かを判定する動作分割判定手段を更に備え、
前記動作分割判定手段によって動作を分割すべきと判定された場合に生成される複数の動作の各々について前記制御対象が移動する軌道を生成し、前記目標軌道を更新することを特徴とする請求項1に記載の軌道生成装置。

【請求項8】

前記制御対象を直線上で動作させる直線補間で前記干渉を回避すべきか否かを判定する直線補間挿入判定手段を更に備え、
前記直線補間挿入判定手段が直線補間で前記干渉を回避すべきと判定した場合に干渉回避動作を直線補間で行うことを特徴とする請求項1に記載の軌道生成装置。

【請求項9】

前記動作開始点と前記動作終了点とのうちの少なくとも一方における目標速度の方向及び大きさの指定をもとに前記干渉がない場合に各軸が同期して動作する区間の始点、終点である接続地点の位置を算出する接続条件算出手段を更に備え、
前記接続条件算出手段によって算出された接続地点の位置をもとに軌道を生成することを特徴とする請求項1に記載の軌道生成装置。

【請求項10】

前記制御対象の軌跡が目標の軌道からずれる影響を推定する制御系影響考慮手段を更に備え、
前記制御系影響考慮手段の出力をもとに、前記干渉領域抽出手段の内部に記憶されている障害物についてのパラメータを変更することを特徴とする請求項1に記載の軌道生成装置。

【請求項11】

前記非最大移動軸修正手段は、多関節ロボットの運動学に基づく制約条件下で前記非最大移動軸の位置を修正する

10

20

30

40

50

ことを特徴とする請求項 1 に記載の軌道生成装置。

【請求項 1 2】

前記目標軌道をもとにロボットの制御周期毎の補間動作を生成する指令生成手段と、
前記補間動作中の前記最大移動軸の加減速度、前記最大移動軸の加減速開始時刻、前記非最大移動軸の加減速度、及び前記非最大移動軸の加減速開始時刻のうちの少なくとも一つを修正する指令修正手段と

を更に備えることを特徴とする請求項 1 に記載の軌道生成装置。

【請求項 1 3】

前記初期経由点算出手段によって計算される一つ以上の経由点に対する補間動作と、前記非最大移動軸修正手段によって修正される量に対応する一つ以上の経由点に対する補間動作とをロボットコマンドに変換するロボットコマンド決定手段

を更に備えることを特徴とする請求項 1 に記載の軌道生成装置。

【請求項 1 4】

前記初期経由点算出手段によって決定される軌道の加減速パラメータを決定する第 1 加減速決定手段と、

前記非最大移動軸修正手段によって修正される軌道の加減速パラメータを決定する第 2 加減速決定手段とを更に備え、

前記第 1 加減速決定手段は、決定した加減速パラメータを前記ロボットコマンド決定手段に送信し、

前記第 2 加減速決定手段は、決定した加減速パラメータを前記ロボットコマンド決定手段に送信する

ことを特徴とする請求項 1 3 に記載の軌道生成装置。

【請求項 1 5】

前記初期経由点算出手段によって決定される軌道の加減速パラメータを決定する第 1 加減速決定手段と、

前記非最大移動軸修正手段によって修正される軌道の加減速パラメータを決定する第 2 加減速決定手段と、

前記第 1 加減速決定手段によって決定される加減速パラメータ及び前記第 2 加減速決定手段によって決定される加減速パラメータを修正する加減速パラメータ修正手段とを備え、

前記加減速パラメータ修正手段によって修正された加減速パラメータを用いて前記目標軌道を生成する

ことを特徴とする請求項 1 から 1 3 のいずれか 1 項に記載の軌道生成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、ロボット又は工作機械等の産業機械において、動作の開始点及び終了点の情報と周囲の環境の情報とをもとに周辺との干渉を防止する産業機械の目標軌道を生成する軌道生成装置に関する。

【背景技術】

【0002】

電機電子分野の組み立て作業、工作機械からの取り出し作業、又は、食品分野若しくは物流分野の搬送作業では、ロボットで作業を行う際に、システムの内部の障害物との干渉を防止しながらロボットを動作させる必要があるが、干渉を防止しながらロボットの作業を高速化するにはプログラムの生成及び調整に熟練を要する。そのため、素人でも簡単に障害物を回避しながらロボットを動作させるためのプログラムを生成することができる技術が望まれている。

【0003】

従来、開始教示点と目標教示点との間でロボットアームを動作させる軌道を生成する軌道生成方法が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。従来の軌道生成方法は、制御装置が、ロボットアームを動作させる軌道の開始教示点と目標教示点との間に配置された

10

20

30

40

50

第1の中間教示点群に対して変位を与えて第2の中間教示点群を生成する中間教示点生成工程と、制御装置が、第2の中間教示点群をもとに、ロボットアームを模擬したロボットアームモデルを動作させる軌道を生成する軌道生成工程とを含む。従来の軌道生成方法は、制御装置が、中間教示点生成工程において、第1の中間教示点群に対して異なる変位を与えて生成した複数の第2の中間教示点群から、軌道生成工程によりそれぞれ生成した複数の軌道に対する評価値を生成する評価工程を更に含む。従来の軌道生成方法は、制御装置が、評価工程で生成された複数の軌道に対する評価値をもとに第1の中間教示点群を移動させ、移動後の第1の中間教示点群に対して、中間教示点生成工程と、軌道生成工程と、評価工程とを繰り返し実行し、所定の条件を満たす第1の中間教示点群を、ロボットアームを動作させる軌道の生成に用いる中間教示点群として決定する軌道決定工程を更に含む。第2の中間教示点群を生成する中間教示点生成工程においては、空間的な変位を与えるためのパラメータとして乱数値が足しこまれる。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2019-135076号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来の技術には、干渉を回避する軌道上の中間教示点群である経由点を生成する際、乱数を発生させて経由点を修正するため、最適な軌道は必ずしも得られないという問題と、動作時間を短くする軌道を得るために経由点を繰り返し修正する必要があるため経由点を決定するまでに比較的長い時間を要するという問題と、試行の度に生成される軌道が変動するという問題とがある。

20

【0006】

本開示は、上記に鑑みてなされたものであって、干渉を回避しながら動作時間を短縮する最適な軌道を生成することができ、目標軌道の探索を比較的短時間で行うことができ、試行毎のばらつきを小さくすることができる軌道生成装置を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示に係る軌道生成装置は、制御対象が有する複数の軸のうちの動作開始点から動作終了点までの動作において予め記憶されている各軸の最高速度で動作した場合にかかる時間が最大となる最大移動軸を算出する最大移動軸算出手段と、複数の軸が同期して動作する場合の、動作開始点から動作終了点までに制御対象が経由する経由点を生成する初期経由点算出手段と、初期経由点算出手段によって生成された複数の経由点のうち、制御対象と周囲との干渉が発生する経由点を含む区間を抽出する干渉領域抽出手段と、複数の軸のうちの最大移動軸算出手段によって算出された最大移動軸以外の軸である非最大移動軸の位置であって制御対象の位置を実現する位置を、干渉領域抽出手段で抽出された区間にある経由点での干渉が回避されるように修正することで干渉を回避する経由点を生成する非最大移動軸修正手段とを有する。本開示に係る軌道生成装置は、非最大移動軸修正手段で干渉を回避するよう生成された経由点を通る軌道を制御対象が通る目標軌道とする。

30

【発明の効果】

【0008】

本開示に係る軌道生成装置は、干渉を回避しながら動作時間を短縮する最適な軌道を生成することができ、目標軌道の探索を比較的短時間で行うことができ、試行毎のばらつきを小さくすることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】実施の形態1に係る軌道生成装置の構成を示す図

40

50

- 【図 2】実施の形態 1 における経路点間の移動量の第 1 の修正例を示す図
- 【図 3】実施の形態 1 に係る軌道生成装置が有する非最大移動軸修正手段の構成を示す図
- 【図 4】実施の形態 1 における経路点間の移動量の第 2 の修正例を示す図
- 【図 5】実施の形態 1 における経路点間の移動量の第 3 の修正例を示す図
- 【図 6】図 2 の修正の場合の経路点の位置の変化の説明図
- 【図 7】実施の形態 1 における経路点間の移動量の第 4 の修正例を示す図
- 【図 8】実施の形態 1 における経路点間の移動量の第 5 の修正例を示す図
- 【図 9】実施の形態 2 に係る軌道生成装置が有する非最大移動軸修正手段の構成を示す図
- 【図 10】実施の形態 2 における経路点間の移動量の修正例を示す図
- 【図 11】実施の形態 3 に係る軌道生成装置が有する非最大移動軸修正手段の構成を示す図
- 【図 12】実施の形態 4 に係る軌道生成装置が有する非最大移動軸修正手段の構成を示す図
- 【図 13】実施の形態 5 に係る軌道生成装置が有する非最大移動軸修正手段の構成を示す図
- 【図 14】実施の形態 6 に係る軌道生成装置が有する非最大移動軸修正手段の構成を示す図
- 【図 15】実施の形態 7 に係る軌道生成装置の構成を示す図
- 【図 16】実施の形態 8 に係る軌道生成装置の構成を示す図
- 【図 17】実施の形態 9 に係る軌道生成装置の構成を示す図
- 【図 18】実施の形態 10 に係る軌道生成装置の構成を示す図
- 【図 19】実施の形態 12 における経路点の移動量を示す図
- 【図 20】実施の形態 13 に係る軌道生成装置の構成を示す図
- 【図 21】6 個の回転軸を持つ垂直多関節ロボットの模式図を用いて手先の姿勢を維持しながらの非最大移動軸を修正する例を説明するための図
- 【図 22】実施の形態 14 に係る軌道生成装置の構成を示す図
- 【図 23】実施の形態 14 に係る軌道生成装置が有する指令修正手段が行う加減速度の修正の例を示す図
- 【図 24】実施の形態 15 に係る軌道生成装置の構成を示す図
- 【図 25】実施の形態 16 に係る軌道生成装置の構成を示す図
- 【図 26】実施の形態 16 に係る軌道生成装置の動作の例を説明するための図
- 【図 27】実施の形態 1 に係る軌道生成装置が有する最大移動軸算出手段、初期経路点算出手段、干渉領域抽出手段及び非最大移動軸修正手段の少なくとも一部の機能がプロセッサによって実現される場合のプロセッサを示す図
- 【図 28】実施の形態 1 に係る軌道生成装置が有する最大移動軸算出手段、初期経路点算出手段、干渉領域抽出手段及び非最大移動軸修正手段の少なくとも一部が処理回路によって実現される場合の処理回路を示す図
- 【発明を実施するための形態】

【0010】

以下に、実施の形態に係る軌道生成装置を図面に基づいて詳細に説明する。

【0011】

実施の形態 1.

図 1 は、実施の形態 1 に係る軌道生成装置 1 の構成を示す図である。軌道生成装置 1 は、産業用ロボット、人協働ロボット又は工作機械等の産業用機械の軌道の生成に用いられる装置である。軌道生成装置 1 は、産業用ロボット等の制御装置の中に配置されてもよいし、制御装置の外部のパーソナルコンピュータの内部又はクラウドに構成されてもよい。軌道生成装置 1 には、動作開始点の情報及び動作終了点の情報が入力される。

【0012】

軌道生成装置 1 は、制御対象が有する複数の軸のうちの動作開始点から動作終了点までの動作において最高速度に対する移動距離の比が最大となる最大移動軸を算出する最大移動軸算出手段 2 と、複数の軸が同期して動作する場合の経路点を生成する初期経路点算出手段 3 とを有する。軌道生成装置 1 は、初期経路点算出手段 3 によって生成された複数の経路点のうちの周囲との干渉が発生する経路点を含む区間を抽出する干渉領域抽出手段 4 と、複数の軸のうちの最大移動軸算出手段 2 によって算出された最大移動軸以外の軸であ

10

20

30

40

50

る非最大移動軸の位置を修正することで干渉を回避する経路点を生成する非最大移動軸修正手段5とを更に有する。軌道生成装置1は、非最大移動軸修正手段5の出力を目標軌道とする。以下で、最大移動軸算出手段2、初期経路点算出手段3、干渉領域抽出手段4及び非最大移動軸修正手段5の各々を更に説明する。

【0013】

最大移動軸算出手段2は、入力された動作開始点の情報及び動作終了点の情報と、内部で記憶している産業用ロボット等の制御対象が有する複数の軸の各々の最高速度とをもとに、指定された動作においてどの軸が最大移動軸になるかを算出する。具体的には、最大移動軸算出手段2は、制御対象が有する複数の軸の各々について、動作終了点の位置から動作開始点の位置を減算し、減算することによって得られた結果を当該軸の最高速度で除算し、除算することによって得られた結果の絶対値が最大となる軸を最大移動軸として選定する。複数の軸のうちの最大移動軸以外の軸は、非最大移動軸と記載される。最大移動軸算出手段2が除算した結果の絶対値が最大となる軸が複数存在する場合、最大移動軸は複数存在してもよい。

10

【0014】

なお、上述の最大移動軸以外の軸について最大移動軸算出手段2が除算した結果の絶対値と上述の最大移動軸について最大移動軸算出手段2が除算した結果の絶対値との比が規定値以上となる場合、当該軸も最大移動軸とみなし、それ以外の軸を非最大移動軸とみなしてもよい。しかしながら、以下では、最大移動軸算出手段2が除算した結果の絶対値が最大となる軸のみが最大移動軸である。

20

【0015】

軌道生成装置1の後段に加減速を行い制御周期毎の指令を生成する指令生成手段が設けられている場合、軌道生成装置1が軌道に沿った加減速を実施する必要は必ずしもない。実施の形態1では、軌道生成装置1の後段に加減速を行い制御周期毎の指令を生成する指令生成手段が設けられている。指令生成手段は、図1には示されていない。

【0016】

初期経路点算出手段3は、動作開始点から動作終了点まで制御対象が有する複数の軸の各々が同期して加減速なしで動作する場合の初期経路点を一定の時間間隔で生成する。図2は、実施の形態1における経路点間の移動量の第1の修正例を示す図である。図2は、最大移動軸及び非最大移動軸の各々が一つずつ存在する場合の時間に相当する移動量と経路点間の移動量との関係を示している。図2には、干渉領域も示されている。

30

【0017】

干渉領域抽出手段4には、ロボット等の制御対象の周囲の障害物の位置及び大きさ等の干渉判定に必要な情報が予め記憶されている。干渉領域抽出手段4は、記憶している干渉判定に必要な情報と、初期経路点算出手段3によって算出される複数の経路点の各々の位置情報とをもとに、複数の経路点の各々で干渉が発生するかどうかを判定し、複数の経路点のいずれかで干渉が発生すると判定した場合、干渉が発生すると判定した経路点を含む区間を干渉領域として抽出する。

【0018】

図3は、実施の形態1に係る軌道生成装置1が有する非最大移動軸修正手段5の構成を示す図である。非最大移動軸修正手段5は、干渉領域内の経路点の非最大移動軸の位置を修正する経路点第1修正手段6と、干渉領域前後の非最大移動軸の位置を修正する経路点第2修正手段7と、加速度又はトルクの制限を考慮して経路点の非最大移動軸の位置を修正する加減速考慮修正手段8とを有する。

40

【0019】

経路点第1修正手段6は、初期経路点算出手段3によって生成された複数の経路点のうち、まず抽出された干渉領域に属する経路点に関して、最大移動軸の位置をそのままにし、非最大移動軸の位置を修正して干渉を回避する経路点を生成する。経路点第1修正手段6が修正を行う方向については、予め定められていてもよいし、評価関数に基づいて最適な方向が選択されてもよい。実施の形態1では、経路点第1修正手段6が修正を行う方向

50

は予め定められている。

【0020】

経路点第1修正手段6は、干渉領域に含まれる経路点で最大移動軸のみを動作させた場合の移動方向を算出し、移動方向に対して垂直上向き及び水平方向の各々であって移動方向に対して直交する2方向を回避方向の候補とし、干渉を回避する際の非最大移動軸の移動量を非最大移動軸の最高速度で除算した結果の絶対値の最大値が最小となる方向を回避方向と決定する。

【0021】

制御対象が6軸垂直多関節ロボットである場合、経路点第1修正手段6は、複数の非最大移動軸のうち根元から2軸を選択し、当該2軸のうちの移動量を軸の最高速度で除算した結果の絶対値の最大値が最小となる方向を回避方向と決定してもよい。図2(B)は、経路点第1修正手段6による経路点の修正結果を示す図である。

10

【0022】

図2(B)では、非最大移動軸の速度が非最大移動軸の許容最大速度を超過するため、経路点第2修正手段7は、干渉領域の前後の経路点における非最大移動軸の位置を修正する。経路点第2修正手段7は、図2(C)、図4(C)又は図5(C)に示されるように修正を行ってもよい。図4は、実施の形態1における経路点間の移動量の第2の修正例を示す図である。図4は、最大移動軸及び非最大移動軸の各々が一つずつ存在する場合の時間に相当する移動量と経路点間の移動量との関係を示している。図5は、実施の形態1における経路点間の移動量の第3の修正例を示す図である。図5は、最大移動軸及び非最大移動軸の各々が一つずつ存在する場合の時間に相当する移動量と経路点間の移動量との関係を示している。

20

【0023】

図2、図4及び図5のいずれにおいても、左上の(A)は初期経路点算出手段3によって生成された経路点を示しており、右上の(B)は経路点第1修正手段6によって修正された経路点を示しており、左下の(C)は経路点第2修正手段7によって修正された経路点を示しており、右下の(D)は加減速考慮修正手段8によって修正された経路点を示している。左上、右上、左下、右下の順に、経路点は生成又は修正される。

【0024】

図2、図4及び図5のいずれにおいても、左上及び右上は同じ経路点を示しており、経路点第2修正手段7による修正内容に対応して左下以降が異なっている。経路点第2修正手段7は、非最大移動軸の速度制限と干渉回避とを両立する条件を満たす範囲で干渉領域及び干渉領域の前後の経路点の非最大移動軸の位置を修正する。

30

【0025】

最大移動軸が最高速度で動いている領域では、軌道生成装置1の後段の指令生成手段を経ても最大移動軸が減速しないことが望ましい。経路点第2修正手段7まででは加減速の影響は考慮されていないので、このままでは軌道生成装置1の後段の指令生成手段が最大移動軸を減速させる必要が発生し動作時間が長くなる。そこで後段の指令生成手段を経ても最大移動軸が加減速を行わず最高速度を保てるように、加減速考慮修正手段8は、経路点の非最大移動軸の位置を修正する。

40

【0026】

具体的には、加減速考慮修正手段8は、予め定められた又は算出された加速度制限値もしくは加減速時間の制限値をもとに、非最大移動軸の経路点間の移動量もしくは移動速度の変動幅を制限する。加減速考慮修正手段8は、予め定められた又は算出されたトルク制限値をもとに非最大移動軸の経路点間の移動量の変動幅を制限してもよい。

【0027】

経路点第2修正手段7によって行われた修正結果が図2(C)、図4(C)又は図5(C)である場合、加減速考慮修正手段8によって修正が行われると、図2(C)に対する修正結果は図2(D)となり、図4(C)に対する修正結果は図4(D)となり、図5(C)に対する修正結果は図5(D)となる。なお、図2の修正の場合の経路点の位置の変

50

化の説明図が図 6 である。

【0028】

加減速考慮修正手段 8 は、修正した経路点を目標軌道として指令生成手段に出力する。指令生成手段は、入力された目標軌道上で、制御対象の速度と加速度又は駆動トルクとについての制約を満たす指令を生成し、ロボット等の制御対象を制御する。

【0029】

上述の説明では、動作開始点から干渉領域の開始地点までの第 1 の区間と、干渉領域の終了地点から動作終了点までの第 2 の区間とにおいて、非最大移動軸の方が最大移動軸より早く動作を完了することができる。しかしながら、上述の第 1 の区間及び第 2 の区間の一方又は両方で、非最大移動軸の方が最大移動軸より早く動作を完了することができない場合もある。

【0030】

図 7 は実施の形態 1 における経路点間の移動量の第 4 の修正例を示す図であり、図 8 は実施の形態 1 における経路点間の移動量の第 5 の修正例を示す図であり、図 7 及び図 8 は、干渉領域の終了地点から動作終了点までの第 2 の区間において、非最大移動軸の方が最大移動軸より早く動作を完了することができない場合の経路点の修正結果を示している。図 7 及び図 8 が示す事例はいずれも同じ事例に対する経路点の生成結果を示しているが、経路点第 2 修正手段 7 によって行われた修正結果が異なっている。図 7 の場合、最大移動軸は修正されずに非最大移動軸のみが修正されており、最大移動軸の動作の終了後に非最大移動軸の動作が終了する。図 8 の場合、非最大移動軸と最大移動軸との両方が修正されている。更に言うと、図 8 の場合、最大移動軸の移動速度を低減することで、最大移動軸の動作と非最大移動軸の動作とが同時に終了するように、修正が行われている。

【0031】

実施の形態 1 に係る軌道生成装置 1 によれば、最大移動軸が可能な限り最高速度を保つ軌道が生成されるため、干渉を回避しながら動作時間を短縮する軌道を生成することができるという効果が得られる。加えて、経路点の生成に乱数が用いられないため、目標軌道の探索を短時間で行うことができるという効果、及び試行毎のばらつきが小さくなるという効果も得られる。さらに、非最大移動軸が回避動作を行う場合の加減速の影響も考慮されるため、最大移動軸の不要な加減速を防止し、動作時間を短縮することができるという効果も得られる。すなわち、軌道生成装置 1 は、干渉を回避しながら動作時間を短縮する最適な軌道を生成することができ、目標軌道の探索を比較的短時間で行うことができ、試行毎のばらつきを小さくすることができる。

【0032】

実施の形態 2 .

実施の形態 2 に係る軌道生成装置の全体の構成を示す説明図も図 1 であるが、実施の形態 2 の非最大移動軸修正手段 5 の構成は実施の形態 1 の非最大移動軸修正手段 5 の構成と異なる。図 9 は、実施の形態 2 に係る軌道生成装置が有する非最大移動軸修正手段 5 の構成を示す図である。実施の形態 2 の非最大移動軸修正手段 5 は、実施の形態 1 の非最大移動軸修正手段 5 が有する全ての構成要素のうちの加減速考慮修正手段 8 以外の構成要素を有する。つまり、実施の形態 2 の非最大移動軸修正手段 5 は、実施の形態 1 の非最大移動軸修正手段 5 が有する経路点第 1 修正手段 6 と経路点第 2 修正手段 7 とを有し、加減速考慮修正手段 8 を有しない。

【0033】

例えば図 2 と同じケースでは、図 10 に示される通り、左下までの経路点の修正結果が得られる。図 10 は、実施の形態 2 における経路点間の移動量の修正例を示す図である。実施の形態 2 では、経路点第 2 修正手段 7 の修正結果が後段の指令生成手段に出力される。そのため、実施の形態 2 では、最大移動軸の不要な加減速を防止するという効果は得られないが、干渉を回避しながら動作時間を短縮する軌道を生成することができるという効果が得られる。加えて、経路点の生成に乱数が用いられないため、目標軌道の探索を短時間で行うことができるという効果、及び試行毎のばらつきが小さくなるという効果も得ら

10

20

30

40

50

れる。

【0034】

実施の形態3.

実施の形態3に係る軌道生成装置の全体の構成を示す説明図も図1であるが、実施の形態3の非最大移動軸修正手段5の構成は実施の形態1の非最大移動軸修正手段5の構成と異なる。図11は、実施の形態3に係る軌道生成装置が有する非最大移動軸修正手段5の構成を示す図である。実施の形態3の非最大移動軸修正手段5は、実施の形態1の非最大移動軸修正手段5が有する全ての構成要素と、回避方向最適化手段9とを有する。つまり、実施の形態3の非最大移動軸修正手段5は、経路点第1修正手段6、経路点第2修正手段7、加減速考慮修正手段8及び回避方向最適化手段9を有する。

10

【0035】

回避方向最適化手段9は、非最大移動軸の位置を修正する方向を最適化する。干渉を回避しながら最短の動作時間となる軌道を生成することを目的に最適化するため、実施の形態3に係る軌道生成装置の後段の指令生成手段の出力をもとに最適な修正方向が選択されてもよいが、当該方法では最適化に比較的長い時間を要する。

【0036】

そのため、回避方向への移動時の非最大移動軸の移動量を非最大移動軸の最大速度で除算した結果の最大値が最小になる条件で最適化することと、回避方向への移動時の非最大移動軸の移動量を非最大移動軸の最大速度で除算した結果の最大値が許容値以下となる範囲で先端位置の移動量を最小化することと、回避方向への移動時の非最大移動軸の移動量を非最大移動軸の最大速度で除算した結果の最大値が許容値以下となる範囲で回避方向への移動時の加速度を最小化することとのうちのいずれかを評価関数とすればよい。

20

【0037】

回避方向最適化手段9は、人工知能技術を用いてもよい。例えば、回避方向最適化手段9は、ベイズ最適化、粒子群最適化、又は遺伝的アルゴリズム等の手法を用いてもよい。

【0038】

回避方向最適化手段9は、動作開始点及び動作終了点、並びに干渉物の位置及び大きさの情報をもとに最適な回避方向を学習したニューラルネットワークを用いてもよい。軌道の生成及び指令値の生成は仮想環境でも実施することができるため、ニューラルネットワークの学習では、仮想環境における後段での指令生成の実施後の動作時間が最短となる回避方向を仮想環境での計算を繰り返すことで算出しておき、動作開始点及び動作終了点、並びに干渉物の位置及び大きさの情報を入力とし、回避方向を出力とするニューラルネットワークの学習が行われてもよい。学習済のニューラルネットワークに軌道を生成する際の条件を入力し、ニューラルネットワークが出力する回避方向を非最大移動軸修正手段5による回避方向としてもよい。

30

【0039】

実施の形態3に係る軌道生成装置は、回避方向最適化手段9を有するので、回避方向が固定される場合と比べ、動作時間を短縮することができる。

【0040】

実施の形態4.

40

実施の形態4に係る軌道生成装置の全体の構成を示す説明図も図1であるが、実施の形態4の非最大移動軸修正手段5の構成は実施の形態1の非最大移動軸修正手段5の構成と異なる。図12は、実施の形態4に係る軌道生成装置が有する非最大移動軸修正手段5の構成を示す図である。実施の形態4の非最大移動軸修正手段5は、実施の形態1の非最大移動軸修正手段5が有する経路点第1修正手段6及び加減速考慮修正手段8と、回避点最適化手段10とを有する。実施の形態4の非最大移動軸修正手段5は、実施の形態1の非最大移動軸修正手段5が有する経路点第2修正手段7を有しない。

【0041】

回避方向が同じでも、実施の形態1で示されたように、回避点の設定方法は複数存在する。回避点の選択によっては、後段の指令生成手段がトルク制限を考慮して指令を生成す

50

る際の動作時間が変動する場合がある。また、非最大移動軸の不要な速度変動を防止することで非最大移動軸を加減速するために動作時間が延びることを防止することができる場合もある。そこで、実施の形態 4 では、決定した回避方向に対して具体的な回避点を最適化する回避点最適化手段 10 が設けられている。

【0042】

回避点最適化手段 10 は、干渉を回避することができる制約を満たす範囲で、非最大移動軸の速度変動が小さくなり、最大移動軸を含めてトルク制約を満たす加速度が大きくなる回避点を探索する。回避点最適化手段 10 は、回避点の探索に、回避方向の探索と同じく、ベイズ最適化、粒子群最適化又は遺伝的アルゴリズム等の手法を用いてもよい。

【0043】

回避点最適化手段 10 は、回避方向と動作開始点及び動作終了点並びに干渉物の位置及び大きさの情報とをもとに最適な回避点を学習したニューラルネットワークを用いてもよい。軌道の生成及び指令値の生成は仮想環境でも実施することができるため、ニューラルネットワークの学習では、仮想環境における後段での指令生成の実施後の動作時間が最短となる回避方向を条件毎に仮想環境での計算を繰り返すことで算出しておき、回避方向、動作開始点及び動作終了点、並びに干渉物の位置及び大きさの情報を入力とし、回避点を出力とするニューラルネットワークの学習が行われてもよい。学習済のニューラルネットワークに軌道を生成する際の条件を入力し、ニューラルネットワークが出力する回避点を、回避点最適化手段 10 が生成する回避点としてもよい。

【0044】

実施の形態 4 に係る軌道生成装置は、回避点最適化手段 10 を有するので、回避点の算出方法が固定である場合と比べ、動作時間を短縮することができる。

【0045】

実施の形態 5 .

実施の形態 5 に係る軌道生成装置の全体の構成を示す説明図も図 1 であるが、実施の形態 5 の非最大移動軸修正手段 5 の構成は実施の形態 1 の非最大移動軸修正手段 5 の構成と異なる。図 13 は、実施の形態 5 に係る軌道生成装置が有する非最大移動軸修正手段 5 の構成を示す図である。実施の形態 5 の非最大移動軸修正手段 5 は、回避方向回避点最適化手段 11 と、実施の形態 1 の非最大移動軸修正手段 5 が有する加減速考慮修正手段 8 とを有する。実施の形態 5 の非最大移動軸修正手段 5 は、実施の形態 1 の非最大移動軸修正手段 5 が有する経路点第 1 修正手段 6 及び経路点第 2 修正手段 7 を有しない。

【0046】

実施の形態 3 に係る軌道生成装置は回避方向を最適化する回避方向最適化手段 9 を有し、実施の形態 4 に係る軌道生成装置は回避方向が決定された後の回避点の生成を最適化する回避点最適化手段 10 を有する。実施の形態 5 に係る軌道生成装置は、回避方向と回避点とを合わせて最適化する回避方向回避点最適化手段 11 を有する。回避方向回避点最適化手段 11 は、回避方向最適化手段 9 及び回避点最適化手段 10 と同様に、ベイズ最適化、粒子群最適化又は遺伝的アルゴリズム等の最適化手法で探索して、又はニューラルネットワークを用いて回避方向及び回避点を出力する。

【0047】

実施の形態 5 に係る軌道生成装置は、回避方向回避点最適化手段 11 を有するので、回避方向及び回避点の算出方法が固定である場合と比べ、動作時間を短縮することができる。

【0048】

実施の形態 6 .

実施の形態 6 に係る軌道生成装置の全体の構成を示す説明図も図 1 であるが、実施の形態 6 の非最大移動軸修正手段 5 の構成は実施の形態 1 の非最大移動軸修正手段 5 の構成と異なる。図 14 は、実施の形態 6 に係る軌道生成装置が有する非最大移動軸修正手段 5 の構成を示す図である。実施の形態 6 の非最大移動軸修正手段 5 は、実施の形態 1 の非最大移動軸修正手段 5 が有する全ての構成要素と、加減速時間算出手段 12 とを有する。つまり、実施の形態 6 の非最大移動軸修正手段 5 は、経路点第 1 修正手段 6、経路点第 2 修正

10

20

30

40

50

手段 7、加減速考慮修正手段 8 及び加減速時間算出手段 12 を有する。

【0049】

加減速時間算出手段 12 は、非最大移動軸の速度が変化する場合に加減速考慮修正手段 8 が経路点の修正に用いる加減速時間を算出する。非最大駆動軸の速度が変動する地点での各軸の速度の差から構成されるベクトルを V_c とし、各軸の速度を V とし、各軸の位置を θ とし、制御対象であるロボットの慣性行列を $M(\theta)$ とし、遠心コリオリ力、重力及び摩擦力の和から構成されるベクトルを $H(\theta, V)$ とし、各軸の許容最大トルクから構成されるベクトルを τ_{max} とするとき、加減速時間算出手段 12 は、下記の式 (1) を満たす最小の k_t を全ての軸について算出し、各軸の k_t の最大値 k_{tm} を加減速時間として出力する。

【0050】

【数 1】

$$-\tau_{max} \leq M(\theta) \cdot V_c/k_t + H(\theta, V) \leq \tau_{max} \quad \cdots (1)$$

【0051】

加減速考慮修正手段 8 は、加減速時間算出手段 12 から出力された加減速時間 k_{tm} で非最大移動軸の速度が変化するように経路点を修正する。

【0052】

実施の形態 6 に係る軌道生成装置は、非最大移動軸の加減速を、速度変化量、制御対象の位置姿勢、移動速度及びトルク制限を考慮して決定するため、加減速パラメータを固定にする場合と比べ、動作時間を短縮することができる。

【0053】

実施の形態 7.

図 15 は、実施の形態 7 に係る軌道生成装置 1A の構成を示す図である。軌道生成装置 1A は、実施の形態 1 に係る軌道生成装置 1 が有する全ての構成要素と、動作分割判定手段 13 とを有する。つまり、軌道生成装置 1A は、最大移動軸算出手段 2、初期経路点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4、非最大移動軸修正手段 5 及び動作分割判定手段 13 を有する。実施の形態 1 に係る軌道生成装置 1 は、動作開始点から動作終了点までを一つの動作として干渉を考慮した軌道を生成する。実施の形態 7 に係る軌道生成装置 1A は、動作開始点から動作終了点までの動作を一つの動作として、最大移動軸算出手段 2 から非最大移動軸修正手段 5 までの演算を一旦実施する。

【0054】

軌道生成装置 1A は、干渉回避を実施した結果、非最大移動軸の動作時間が最大移動軸の動作時間を上回った場合、動作分割判定手段 13 によって動作開始点から動作終了点までの動作を二つ以上の動作に分割すべきかどうかの判定を実施する。動作分割判定手段 13 が動作を分割すべきでないと判定した場合、軌道生成装置 1A は、非最大移動軸修正手段 5 の出力を生成した軌道として出力する。動作分割判定手段 13 が動作を二つ以上の動作に分割すべきと判定した場合、分割によって得られる複数の動作の各々について、最大移動軸算出手段 2、初期経路点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4 及び非最大移動軸修正手段 5 の各々は処理を実施し、実施した結果を分割によって得られる複数の動作の各々についての生成軌道として更新し、出力する。

【0055】

動作分割判定手段 13 は、動作を二つ以上の動作に分割した場合の複数の動作の各々における最大移動軸の加減速なしでの移動時間の和と、動作を分割する前の非最大移動軸修正手段 5 によって得られる移動時間とを比較する。動作分割判定手段 13 は、動作を分割する前の非最大移動軸修正手段 5 によって得られる移動時間の方が動作を分割したときの移動時間の和より短い場合、動作の分割を実施しないと判定する。動作の分割は、例えば、分割前の干渉領域の midpoint で予め定められた複数の方向に中間点を設けることによって行われる。動作分割判定手段 13 は、中間点の方向と中間点の干渉領域からの移動量とを、

10

20

30

40

50

分割後の複数の動作の各々の最大移動軸の移動時間の和が最小となる組み合わせを探索することによって決定する。

【0056】

更に言うと、動作分割判定手段13は、動作を分割すべきか否かを判定する。実施の形態7に係る軌道生成装置1Aは、動作分割判定手段13によって動作を分割すべきと判定された場合に生成される複数の動作の各々について軌道を生成する。軌道生成装置1Aは、動作を二つ以上の動作に分割して軌道を生成した方が最適な軌道を得られる場合の動作時間を短縮することができる。

【0057】

実施の形態7における非最大移動軸修正手段5は、実施の形態1から実施の形態6までのいずれの非最大移動軸修正手段5であってもよい。

【0058】

実施の形態8.

図16は、実施の形態8に係る軌道生成装置1Bの構成を示す図である。軌道生成装置1Bは、実施の形態1に係る軌道生成装置1が有する全ての構成要素と、直線補間挿入判定手段14とを有する。つまり、軌道生成装置1Bは、最大移動軸算出手段2、初期経由点算出手段3、干渉領域抽出手段4、非最大移動軸修正手段5及び直線補間挿入判定手段14を有する。障害物が狭い範囲に複数存在する場合、軸毎に細かく経由点を設定する必要がある等の理由から、ロボットの手先を直線に沿って動作させる直線補間によって当該区間の軌道を生成することが望ましい場合がある。上記のロボットの手先を直線に沿って動作させることは、制御対象の制御点を直線上で動作させることである。

【0059】

そのため、干渉領域抽出手段4によって干渉すると判定された障害物からあらかじめ決められた距離以内に別の障害物が存在する場合、直線補間挿入判定手段14は、当該障害物の回避を直線補間によって実施すると判定する。つまり、直線補間挿入判定手段14は、直線補間挿入を実施すると判定する。直線補間挿入判定手段14が直線補間挿入を実施すると判定した場合、非最大移動軸修正手段5の経由点第1修正手段6は、直線補間によって経由点を生成するとともに回避点までの区間に直線補間のフラグを付与する。

【0060】

経由点第1修正手段6によって生成された経由点までの速度が最大移動軸又は非最大移動軸の最大速度を超過する場合、経由点第2修正手段7は、元の経由点から経由点第1修正手段6によって生成された経由点までの直線上に新たに経由点を追加することで速度が最大速度を超過しない経由点を生成する。加減速考慮修正手段8は、経由点第1修正手段6によって生成された経由点までの加速度があらかじめ設定された加速度を超過する場合、経由点第1修正手段6によって生成された経由点までの直線上に新たに経由点を追加することで加速度が加速度制限を超過しない経由点を生成する。

【0061】

更に言うと、直線補間挿入判定手段14は、制御対象の制御点を直線上で動作させる直線補間で干渉を回避すべきか否かを判定する。実施の形態8に係る軌道生成装置1Bは、直線補間挿入判定手段14が直線補間で干渉を回避すべきと判定した場合に干渉回避動作を直線補間で行う。軌道生成装置1Bは、制御対象の先端を直線上で動作させることで干渉を回避することが望ましい場合の動作時間を短縮することができる。

【0062】

実施の形態8における非最大移動軸修正手段5は、実施の形態1から実施の形態7までのいずれの非最大移動軸修正手段5であってもよい。

【0063】

実施の形態9.

図17は、実施の形態9に係る軌道生成装置1Cの構成を示す図である。軌道生成装置1Cは、実施の形態1に係る軌道生成装置1が有する全ての構成要素と、接続条件算出手段15とを有する。つまり、軌道生成装置1Cは、最大移動軸算出手段2、初期経由点算

10

20

30

40

50

出手段 3、干渉領域抽出手段 4、非最大移動軸修正手段 5 及び接続条件算出手段 15 を有する。

【0064】

電機電子製品の組立をロボットに実施させる場合等、制御対象を目標点近傍まで動作させた後に定められた方向に直線に沿って動作させたい等、動作開始点と動作終了点とのうちのいずれか一方の速度の大きさを 0 以外に指定したいアプリケーションが存在する。このように動作開始点又は動作終了点において制御対象を停止させるのではなく、指定された方向及び大きさの速度を持つ指令に適した軌道の生成に対応するため、軌道生成装置 1C は接続条件算出手段 15 を有する。

【0065】

動作開始点の位置、動作終了点の位置、動作開始点の速度、及び動作終了点の速度を示す情報が接続条件算出手段 15 に入力される。動作開始点の速度及び動作終了点の速度として 0 でない値が設定されている場合、接続条件算出手段 15 は、まず、動作開始点の位置と、動作終了点の位置と、各軸の最大速度とをもとに、各軸が同期して動作する場合の移動速度 V_0 を算出する。次に、接続条件算出手段 15 は、各軸の速度が動作開始点又は動作終了点で指定された速度から、算出した各軸が同期して動作する場合の移動速度 V_0 まで到達するのに要する時間と、各軸の速度が動作開始点又は動作終了点で指定された速度から各軸が同期して動作する場合の移動速度 V_0 までに速度が変化する間に移動する移動距離 L_1 とを算出し、算出した移動距離 L_1 だけ動作開始点及び動作終了点からみて動作区間の内側にある接続地点位置を算出する。接続地点位置は、干渉がない場合に各軸が同期して動作する区間の始点及び終点である。次に、接続条件算出手段 15 は、動作開始点の側の接続点位置及び動作終了点の側の接続点位置をもとに、動作開始点の側の接続点位置と動作終了点の側の接続点位置との間を、各軸を同期して動作させる場合の各軸の速度を算出する。当該各軸の速度は、接続地点速度である。

【0066】

動作開始点の速度及び動作終了点の速度として 0 が設定されている場合、接続条件算出手段 15 は、接続位置を動作開始点又は動作終了点のままとする。次に、接続条件算出手段 15 は、速度が動作開始点の速度又は動作終了点の速度から算出した接続地点速度まで到達するのに要する時間と、移動距離とを算出し、算出した移動距離だけ動作区間の内側にある接続地点位置と接続地点速度とを算出することを繰り返す。接続条件算出手段 15 は、繰り返しの回数が規定回数に到達した場合又は前回との速度及び位置の各々についての差が規定値以下となった場合、算出した接続地点位置及び接続地点速度を最大移動軸算出手段 2 に出力する。

【0067】

最大移動軸算出手段 2 は、入力された接続地点位置の情報をもとに最大移動軸を算出し、二つの接続地点のうちの一方を動作開始点とみなすと共に二つの接続地点のうちの他方を動作終了点とみなす。初期経由点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4 及び非最大移動軸修正手段 5 の各々は、実施の形態 1 の処理と同様の処理を実施する。

【0068】

以下、接続地点位置の導出方法について説明する。下記の各軸移動速度 $V_0[i]$ は干渉がない場合に各軸が同期して動作する場合の速度であり、接続点までの移動時間 T_{1max} は各軸の速度が動作開始点又は動作終了点で指定された速度から $V_0[i]$ まで到達するのに要する時間の最大値であり、各軸の移動量 $L_1[i]$ は各軸が時間 T_{1max} で移動する距離である。移動距離は、速度を積分することによって算出される。

【0069】

動作開始点での速度が指定された場合を例に挙げて説明する。制御対象の第 i 番目の軸の位置、速度及び加速度等は $[i]$ で表現される。制御対象は、例えばロボットである。動作開始点の位置を $P_s[i]$ とし、動作開始点での指定速度を $V_s[i]$ とし、動作終了点の位置を $P_e[i]$ とする。このとき、まず、接続条件算出手段 15 は、動作開始点から動作終了点まで各軸が同期して移動する場合の各軸移動速度 $V_0[i]$ を算出する。

具体的には、接続条件算出手段 15 は、下記の式 (2) を用いて、各軸移動速度 $V0[i]$ を算出する。

【0070】

【数 2】

$$V0[i] = (Pe[i] - Ps[i]) / (\max(\text{abs}((Pe[i] - Ps[i]) / Vmax[i]))) \quad \dots (2)$$

【0071】

式 (2) において、 $Vmax[i]$ は各軸の許容最高速度を示しており、 abs は絶対値を示しており、 $\max$ は各軸の計算結果の最大値を示している。次に、接続条件算出手段 15 は、下記の式 (3) を用いて、動作開始点での指定速度 $Vs[i]$ と算出した $V0[i]$ との差である $Ve1[i]$ を算出する。

【0072】

【数 3】

$$Ve1[i] = V0[i] - Vs[i] \quad \dots (3)$$

【0073】

予め指定された又は導出された加減速時間を Kt とするとき、接続条件算出手段 15 は、下記の式 (4) を用いて $T1[i]$ を算出する。

【0074】

【数 4】

$$T1[i] = \text{abs}(Ve1[i]) \cdot Kt / Vmax[i] \quad \dots (4)$$

【0075】

各軸の $T1[i]$ の最大値を $T1max$ とすると、接続点までの移動時間は $T1max$ となる。次に、接続条件算出手段 15 は、時間 $T1max$ で $Vs[i]$ から $V0[i]$ まで一定の加速度で速度を変化させたときの各軸の移動量 $L1[i]$ を算出し、 $Ps[i] + L1[i]$ を接続点 $Pa1$ の第 i 軸の位置 $Pa1[i]$ とする。動作開始点において速度が指定された場合を例に挙げて説明したが、動作終了点において速度が指定された場合も同様である。

【0076】

更に言うと、接続条件算出手段 15 は、動作開始点と動作終了点とのうちの少なくとも一方における目標速度の方向及び大きさの指定をもとに接続地点の位置を算出する。実施の形態 9 に係る軌道生成装置 1C は、接続条件算出手段 15 によって算出された接続地点の位置をもとに軌道を生成する。軌道生成装置 1C は、動作開始地点と動作終了地点とのうちの少なくとも一方の各軸の速度が指定されている場合の動作時間を短縮することができる。

【0077】

実施の形態 9 における非最大移動軸修正手段 5 は、実施の形態 1 から実施の形態 8 までのいずれの非最大移動軸修正手段 5 であってもよい。

【0078】

実施の形態 10.

図 18 は、実施の形態 10 に係る軌道生成装置 1D の構成を示す図である。軌道生成装置 1D は、実施の形態 1 に係る軌道生成装置 1 が有する全ての構成要素と、制御系影響考慮手段 16 とを有する。つまり、軌道生成装置 1D は、最大移動軸算出手段 2、初期経由点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4、非最大移動軸修正手段 5 及び制御系影響考慮手段 16 を有する。軌道生成装置 1D によって生成された軌道は後段の指令生成手段に入力され、指令生成手段は、軌道生成装置 1D によって生成された軌道を保ったまま各軸の速度及

10

20

30

40

50

びトルクについての制約を満たす制御周期毎の指令を生成し、制御対象を制御する。制御対象の制御において遅れが通常生じるため、実際の制御対象は軌道生成装置によって生成された軌道を厳密に通るのではなく、制御系の影響で内回りした経路を通る。

【0079】

そこで、軌道生成装置1Dは、制御系の影響を考慮して、干渉領域抽出手段4で記憶されている障害物の大きさを仮想的に大きくすることで、制御系の影響により制御対象の軌跡がずれても干渉が発生しない軌道を生成する。制御系の特性は、制御対象の位置により変動する場合もあるため、制御系影響考慮手段16は、動作開始地点及び動作終了地点の情報を取得し、動作範囲内での制御系の特性も考慮して障害物の大きさの変更量又は変更比率を決定する。

【0080】

更に言うと、制御系影響考慮手段16は、制御系により制御対象の軌跡が目標軌道からずれる影響を推定する。軌道生成装置1Dは、制御系影響考慮手段16の出力をもとに干渉領域抽出手段4の内部の障害物についてのパラメータを変更する。軌道生成装置1Dは、制御系の特性により発生する制御対象の軌跡のずれの影響も考慮することができるため、より正確な回避を行うことができる軌道を生成することができる。

【0081】

実施の形態10における非最大移動軸修正手段5は、実施の形態1から実施の形態9までのいずれの非最大移動軸修正手段5であってもよい。

【0082】

実施の形態11.

実施の形態11に係る軌道生成装置の全体の構成を示す説明図も図1であるが、実施の形態11の非最大移動軸修正手段5の構成は実施の形態1の非最大移動軸修正手段5の構成と異なる。実施の形態11では、干渉領域抽出手段4が抽出する干渉領域が複数存在する。干渉領域が複数存在する場合、経路点第1修正手段6は、非最大移動軸の回避方向が複数の干渉領域で同一となる条件の下で回避方向を決定する。経路点第2修正手段7は、各干渉領域の間では、非最大移動軸が初期経路点に戻るよう修正するのではなく、隣接する干渉領域間を接続するように経路点を修正する。上述の動作以外の動作は実施の形態1で説明された動作と同一であるので、上述の動作以外の動作の説明は省略される。

【0083】

実施の形態11に係る軌道生成装置は、制御対象の動作経路に複数の障害物が存在する場合に干渉を回避しながら動作時間を短縮することができる。

【0084】

実施の形態12.

実施の形態12に係る軌道生成装置の全体の構成を示す説明図も図1であるが、実施の形態12では、軌道生成装置の後段に指令生成手段は設けられず、軌道生成装置によって生成された軌道が制御周期毎の指令として用いられる。後段の指令生成手段で加減速が実施されないため、初期経路点算出手段3によって算出される経路点では、速度の波形は速度矩形波ではなく、加減速が行われ、速度台形が生成される。速度台形の傾きは、動作開始地点の位置と、動作終了地点の位置と、各軸の最高速度とをもとにトルク制限を考慮して算出されてもよい。速度台形の傾きは、加速度である。

【0085】

図19は、実施の形態12における経路点の移動量を示す図である。図19では、左上の図は初期経路点算出手段3の算出結果を示しており、右上の図は経路点第1修正手段6の修正結果を示しており、左下の図は経路点第2修正手段7の修正結果を示しており、右下の図は加減速考慮修正手段8の修正結果を示している。実施の形態12に係る軌道生成装置は、加減速考慮修正手段8の出力を生成した指令として制御対象を制御する。

【0086】

実施の形態12に係る軌道生成装置は、干渉を回避して動作時間を短縮する指令を生成するための演算時間を削減することができる。

10

20

30

40

50

【0087】

実施の形態13.

図20は、実施の形態13に係る軌道生成装置1Eの構成を示す図である。軌道生成装置1Eは、実施の形態1に係る軌道生成装置1が有する全ての構成要素と、制約条件記憶手段17と、制約条件充足判定手段18とを有する。つまり、軌道生成装置1Eは、最大移動軸算出手段2、初期経由点算出手段3、干渉領域抽出手段4、非最大移動軸修正手段5、制約条件記憶手段17及び制約条件充足判定手段18を有する。制約条件記憶手段17は、例えば半導体メモリによって実現される。実施の形態13では、非最大移動軸修正手段5は、多関節ロボットの運動学に基づく制約条件下で非最大移動軸の位置を修正する。更に言うと、非最大移動軸修正手段5は、多関節ロボットの運動学に基づく制約条件を考慮しながら非最大移動軸の位置を修正する。

10

【0088】

運動学に基づく制約条件の例として、直線補間動作中の特異点の回避という条件がある。多関節ロボットにおいて、腕が伸びきった姿勢や、二つ以上の回転軸が一直線上に並んだ姿勢をとる位置は、特異点と呼ばれる。特異点では、手先の運動の自由度が減少することにより、手先の位置及び姿勢を実現する各関節の位置の組合せが一意に決まらなくなる。基本的に関節補間動作では多関節ロボットは軌道上の特異点を通過することができるが、実施の形態8で述べたように直線補間にて一部の区間の軌道を生成する場合、特異点の近傍で次の制御点での各関節の位置が決まらずにエラーで多関節ロボットが停止する可能性がある。

20

【0089】

制約条件記憶手段17は、必要とする軌道上の特異点の条件を記憶しておく。非最大移動軸修正手段5の中の経由点第1修正手段6及び経由点第2修正手段7によって求められる修正方向の複数の候補の各々に対して、制約条件充足判定手段18は、次の経由点までに多関節ロボットが特異点を通過するか否かを判定し、多関節ロボットが特異点を通過する修正方向の候補が採用されないようにする。これは例えば、最適な修正方向の評価関数を用い、二つの経由点を結ぶ線分を一定間隔で分割した地点が特異点の近傍か否かを調べ、当該地点が特異点の近傍である場合に評価値にペナルティを付与することで実現することができる。これによって、多関節ロボットの移動について直線補間を用いる場合であっても、実施の形態13に係る軌道生成装置1Eは、多関節ロボットの手先の位置を実現する各軸の位置が一意に決まらない特異点を回避しながらの移動動作を実現する軌道を得ることができる。

30

【0090】

別の制約条件の例として、手先の姿勢の維持という条件がある。図21は、回転軸J1から回転軸J6までの6個の回転軸を持つ垂直多関節ロボットの模式図を用いて手先の姿勢を維持しながらの非最大移動軸を修正する例を説明するための図である。例えば、ロボットハンドが、把持したワークWの姿勢を水平に保ちながら、最大移動軸となる回転軸J1を動かしてワークWを移動させる途中で図21の左側の図のようにワークWが障害物Sに干渉するとき、非最大移動軸である回転軸J2、J3、J5の位置を修正することで、図21の右側の図のようにワークWの姿勢を保ったままワークWと障害物Sとの干渉を回避することができる。この場合、修正前の手先の姿勢が制約条件記憶手段17に設定され、経由点第1修正手段6及び経由点第2修正手段7が、逆運動学の計算を用いて手先の姿勢を変えない非最大移動軸の位置を求める。これは、例えば、干渉領域で経由点の修正方向を決定する際に、直交空間での垂直上向き方向、垂直下向き方向、及び水平面内で移動方向に対して直交する2方向を手先の位置の回避方向の候補とし、制約条件充足判定手段18が各候補の手先の位置に対して姿勢の制約を満たす非最大移動軸の位置を逆運動学によって計算し、非最大移動軸の移動量を当該非最大移動軸の最高速度で除算した結果の絶対値の最大値が最小となる方向を選択することで実現することができる。この場合、制約条件充足判定手段18の処理は、非最大移動軸修正手段5の中の経由点第1修正手段6及び経由点第2修正手段7の処理に含まれていてもよい。これによって、実施の形態13に

40

50

係る軌道生成装置 1 E は、手先の姿勢を水平に保ちながらの移動動作を実現する軌道を得ることができる。

【0091】

ユーザは、必要に応じて、外部インタフェース等を用いて制約条件を追加又は削除してもよい。

【0092】

実施の形態 13 における非最大移動軸修正手段 5 は、実施の形態 1 から実施の形態 7 までのいずれの非最大移動軸修正手段 5 であってもよい。

【0093】

実施の形態 14 .

図 22 は、実施の形態 14 に係る軌道生成装置 1 F の構成を示す図である。軌道生成装置 1 F は、実施の形態 1 に係る軌道生成装置 1 が有する全ての構成要素と、指令生成手段 19 と、指令修正手段 20 とを有する。つまり、軌道生成装置 1 F は、最大移動軸算出手段 2、初期経由点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4、非最大移動軸修正手段 5、指令生成手段 19 及び指令修正手段 20 を有する。

【0094】

指令生成手段 19 は、非最大移動軸修正手段 5 から出力される目標軌道をもとにロボットの制御周期毎の補間動作を生成する。すなわち、指令生成手段 19 は、非最大移動軸修正手段 5 から出力される目標軌道をもとに補間動作指令を生成する。指令修正手段 20 は、指令生成手段 19 の後段に位置していて、ロボットの制御周期毎の補間動作中の最大移動軸の加減速度、最大移動軸の加減速開始時刻、非最大移動軸の加減速度、及び非最大移動軸の加減速開始時刻のうちの少なくとも一つを修正し、動作指令を出力する。

【0095】

非最大移動軸修正手段 5 が出力する目標軌道に対して、指令生成手段 19 が全ての軸の動作終了時刻が同期するようにロボットの制御周期毎の補間動作指令を生成するとき、干渉を回避するための非最大移動軸の動作と同期するために最大移動軸の速度が低下する場合がある。図 23 は、実施の形態 14 に係る軌道生成装置 1 F が有する指令修正手段 20 が行う加減速度の修正の例を示す図である。図 23 の左側の図に示されるように、角速度がゼロの停止状態を区切りとする一連の動作の後半で非最大移動軸による干渉の回避が必要な場合、最大移動軸が出し得る最大の減速度で減速を開始すると速度波形に凹んだ部分すなわちジャークが発生する。これに対して、最大移動軸の減速度を緩和すると、図 23 の右側の図に示されるように、最大移動軸は台形速度波形を維持することができる。これによって、実施の形態 14 に係る軌道生成装置 1 F は、余計なジャークを発生させず、ロボットの構成部品の寿命を向上させることができる。

【0096】

図 23 は最大移動軸の減速度のみを修正する例を示すが、指令修正手段 20 は、動作時間を短縮可能な加減速パラメータの組合せとして、最大移動軸の加減速度、最大移動軸の加減速開始時刻、非最大移動軸の加減速度、及び非最大移動軸の加減速開始時刻の組合せを最適化してもよい。組合せ最適化の手段としては、例えば粒子群最適化やベイズ最適化を用いることができる。また、指令修正手段 20 は、最適な加減速パラメータの組合せ候補に対して、それらのパラメータを用いて生成された動作指令で起動するロボットが障害物に干渉しないことをシミュレーションで確認する機能を有してもよい。

【0097】

実施の形態 14 における非最大移動軸修正手段 5 は、実施の形態 1 から実施の形態 7 までのいずれの非最大移動軸修正手段 5 であってもよい。

【0098】

実施の形態 15 .

図 24 は、実施の形態 15 に係る軌道生成装置 1 G の構成を示す図である。軌道生成装置 1 G は、実施の形態 1 に係る軌道生成装置 1 が有する全ての構成要素と、ロボットコマンド決定手段 21 とを有する。つまり、軌道生成装置 1 G は、最大移動軸算出手段 2、初

期経由点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4、非最大移動軸修正手段 5 及びロボットコマンド決定手段 2 1 を有する。ロボットコマンド決定手段 2 1 は、初期経由点算出手段 3 によって計算される点列に対する補間動作と非最大移動軸修正手段 5 によって算出される修正量に対応する点列に対する補間動作とをロボットコマンドに変換し、ロボットコマンドを出力する。点列は、軌道生成装置が生成する一つ以上の経由点を、動作開始点から動作終了点まで順に並べたものである。

【0099】

実施の形態 1 5 では、初期経由点算出手段 3 は、非最大移動軸の修正前の補間動作の情報として初期経由点算出手段 3 によって決定される軌道の加減速パラメータを決定する第 1 加減速決定手段 3 1 を有する。第 1 加減速決定手段 3 1 は、決定した加減速パラメータをロボットコマンド決定手段 2 1 に出力する。第 1 加減速決定手段 3 1 は、初期経由点算出手段 3 の後段に設けられてもよい。非最大移動軸修正手段 5 は、非最大移動軸の修正量に対応する補間動作の情報として非最大移動軸修正手段 5 によって修正される軌道の加減速パラメータを決定する第 2 加減速決定手段 5 1 を有する。第 2 加減速決定手段 5 1 は、決定した加減速パラメータをロボットコマンド決定手段 2 1 に出力する。第 2 加減速決定手段 5 1 は、実施の形態 6 に係る軌道生成装置が有する加減速時間算出手段 1 2 に相当する。第 2 加減速決定手段 5 1 は、非最大移動軸修正手段 5 の後段に設けられてもよい。第 2 加減速決定手段 5 1 が非最大移動軸修正手段 5 の後段に設けられる場合、非最大移動軸修正手段 5 が初期経由点算出手段 3 の動作をもとにする軌道と非最大移動軸修正手段 5 で修正される軌道とを合成した結果を出力するため、第 2 加減速決定手段 5 1 は軌道を合成前に戻して修正軌道の加減速パラメータを求める。

【0100】

一般的に、産業用ロボットコントローラには、専用のプログラミング言語による動作コマンドが用意されている。例えば、指定された二点間を関節座標で補間するコマンドや、指定された二点間を直線補間するコマンドが存在する。以下では、指定された二点間を関節座標で補間するコマンドは MOV コマンドと記載され、指定された二点間を直線補間するコマンドは MVS コマンドと記載される。

【0101】

加減速パラメータを決めて MOV コマンドや MVS コマンドを指令生成手段に渡すことで、又は、ロボット制御装置が MOV コマンドや MVS コマンドを実行する直前に加減速パラメータを決定することで、ロボットの制御周期毎の補間動作指令が生成される。ロボット制御装置が加減速パラメータを決定すると、実現される軌道が非最大移動軸修正手段 5 から出力される目標軌道からずれる可能性があるため、以下では軌道生成装置 1 G が加減速パラメータまで決定する場合を説明する。

【0102】

加減速パラメータまで決定してから補間動作をロボットコマンドに変換するためには、第 1 加減速決定手段 3 1 は、初期経由点算出手段 3 が算出する点列に対して補間動作の加減速パラメータを決定する必要がある。第 2 加減速決定手段 5 1 は、干渉を回避するために非最大移動軸修正手段 5 が算出する修正量に対応する点列に対して補間動作の加減速パラメータを決定する必要がある。非最大移動軸修正手段 5 が算出する修正量に対応する点列に対する補間動作の加減速パラメータは、例えば実施の形態 6 で述べた加減速考慮修正手段 8 によって行われる計算によって決定することができる。初期経由点算出手段 3 が算出する点列に対する補間動作の加減速パラメータも、第 1 加減速決定手段 3 1 が同様の計算を行うことによって決定することができる。ロボットコマンド決定手段 2 1 は、初期経由点算出手段 3 によって計算される点列に関する情報、非最大移動軸修正手段 5 によって算出される修正量に対応する点列に関する情報、並びに第 1 加減速決定手段 3 1 及び第 2 加減速決定手段 5 1 によって算出された加減速パラメータから、初期経由点算出手段 3 の出力に対応するロボットの動作コマンド、及び非最大移動軸修正手段 5 によって算出される修正量に対応する修正動作に対応するロボットの動作コマンドを生成する。

【0103】

ここまで、実施の形態 15 に係る軌道生成装置 1 G が加減速パラメータまで決定する場合を説明したが、加減速パラメータは軌道生成装置 1 G の外部で決定されてもよい。加減速パラメータが軌道生成装置 1 G の外部で決定される場合、軌道生成装置 1 G は、第 1 加減速決定手段 3 1 及び第 2 加減速決定手段 5 1 を有しなくてもよい。その際、ロボットコマンド決定手段 2 1 は、初期経由点算出手段 3 によって計算される点列に関する情報と、非最大移動軸修正手段 5 によって算出される修正量に対応する点列に関する情報とをもとに、初期経由点算出手段 3 の出力に対応するロボットの動作コマンド、及び非最大移動軸修正手段 5 によって算出される修正量をもとにする修正動作に対応するロボットの動作コマンドを生成する。

【0104】

上述のように、実施の形態 15 に係る軌道生成装置 1 G が非最大移動軸修正手段 5 までを経て生成された目標軌道を複数の補間動作のコマンドに変換して出力することで、ロボットコントローラは軌道点列を記憶する必要がなくなり、ロボットコントローラの記憶量を削減することができる。

【0105】

実施の形態 15 における第 1 加減速決定手段 3 1 を除く初期経由点算出手段 3 は、実施の形態 1 の初期経由点算出手段 3 である。実施の形態 15 における第 2 加減速決定手段 5 1 を除く非最大移動軸修正手段 5 は、実施の形態 1 から実施の形態 7 までのいずれの非最大移動軸修正手段 5 であってもよい。

【0106】

実施の形態 16 .

図 25 は、実施の形態 16 に係る軌道生成装置 1 H の構成を示す図である。軌道生成装置 1 H は、実施の形態 1 に係る軌道生成装置 1 が有する全ての構成要素と、加減速パラメータ修正手段 2 2 とを有する。つまり、軌道生成装置 1 H は、最大移動軸算出手段 2、初期経由点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4、非最大移動軸修正手段 5 及び加減速パラメータ修正手段 2 2 を有する。

【0107】

実施の形態 16 では、初期経由点算出手段 3 は、非最大移動軸を修正する前の補間動作の情報として初期経由点算出手段 3 によって決定される軌道の加減速パラメータを決定する第 1 加減速決定手段 3 2 を有する。非最大移動軸修正手段 5 は、非最大移動軸の修正量に対応する補間動作の情報として非最大移動軸修正手段 5 によって修正される軌道の加減速パラメータを決定する第 2 加減速決定手段 5 2 を有する。加減速パラメータ修正手段 2 2 は、第 1 加減速決定手段 3 2 によって決定される加減速パラメータ及び第 2 加減速決定手段 5 2 によって決定される加減速パラメータを修正し、目標軌道及び加減速パラメータを出力する。実施の形態 16 に係る軌道生成装置 1 H は、加減速パラメータ修正手段 2 2 によって修正された加減速パラメータを用いて目標軌道を生成する。

【0108】

実施の形態 16 では第 1 加減速決定手段 3 2 は初期経由点算出手段 3 の中に含まれるが、第 1 加減速決定手段 3 2 は初期経由点算出手段 3 の後段に設けられてもよい。実施の形態 16 では第 2 加減速決定手段 5 2 は非最大移動軸修正手段 5 の中に含まれるが、第 2 加減速決定手段 5 2 は非最大移動軸修正手段 5 の後段に設けられてもよい。実施の形態 16 に係る軌道生成装置 1 H は、実施の形態 15 との組合せにより、加減速パラメータ修正手段 2 2 によって修正された加減速パラメータをもとに目標軌道をロボットコマンドに変換するロボットコマンド決定手段を有してもよい。

【0109】

実施の形態 15 で述べたように、目標軌道を補間動作のロボットコマンドに変換することを考えたとき、初期経由点算出手段 3 によって算出される点列に対する補間動作の加減速パラメータは、続けて干渉を回避するために非最大移動軸修正手段 5 によって算出される修正量に対応する点列に対する補間動作を実行するのに最適ではない可能性がある。例えば、初期経由点算出手段 3 によって算出される点列に対する補間動作を一つ目の MOV

10

20

30

40

50

コマンドに変換し、非最大移動軸修正手段5によって算出される修正量に対応する点列に対する補間動作を二つ目のMOVコマンドに変換するとき、非最大移動軸修正手段5によって算出される修正量に対応する点列が決まるよりも前に第1加減速決定手段32が各軸の許容トルクの上限まで使って一つ目のMOVコマンドの加減速パラメータを決めることにより、非最大移動軸修正手段5が算出する修正量に対応する点列に対して行うロボットの加減速に余力が少ない場合が生じる。

【0110】

そこで、非最大移動軸修正手段5によって算出される修正量に対応する点列が得られた後、加減速パラメータ修正手段22は、一つ目のMOVコマンド及び二つ目のMOVコマンドでの合計の動作時間が短くなるように、第1加減速決定手段32によって決定される加減速パラメータ及び第2加減速決定手段52によって決定される加減速パラメータを修正する。加減速パラメータ修正手段22が行う加減速パラメータの修正の方法としては、例えば一つ目のMOVコマンドの加減速度を緩和してから、実施の形態6で述べた加減速考慮修正手段8によって行われる計算を再度適用することで、二つ目のMOVコマンドの加減速パラメータを修正することができる。

【0111】

加減速パラメータ修正手段22は、実施の形態14で述べたような組合せ最適化手法を適用して、一つ目のMOVコマンドの加減速パラメータと二つ目のMOVコマンドの加減速パラメータとを同時に修正してもよい。その際、図26に示されるように、実施の形態16に係る軌道生成装置1Hは、加減速パラメータ修正手段22が行った修正結果を初期経由点算出手段3及び非最大移動軸修正手段5にフィードバックして、非最大移動軸を修正する前の補間動作及び非最大移動軸の修正量に対応する補間動作を更新することで、繰り返し最適化の計算を実施することも可能である。図26は、実施の形態16に係る軌道生成装置1Hの動作の例を説明するための図である。

【0112】

上述のように、実施の形態16に係る軌道生成装置1Hは、干渉を回避するために非最大移動軸修正手段5で得られた修正量に対応する点列に対する補間動作でのロボットの加減速に余力を残すように加減速パラメータを修正することで、動作時間を短縮することができる。

【0113】

実施の形態16における第1加減速決定手段32を除く初期経由点算出手段3は、実施の形態1の初期経由点算出手段3である。実施の形態16における第2加減速決定手段52を除く非最大移動軸修正手段5は、実施の形態1から実施の形態7までのいずれの非最大移動軸修正手段5であってもよい。

【0114】

図27は、実施の形態1に係る軌道生成装置1が有する最大移動軸算出手段2、初期経由点算出手段3、干渉領域抽出手段4及び非最大移動軸修正手段5の少なくとも一部の機能がプロセッサ91によって実現される場合のプロセッサ91を示す図である。つまり、最大移動軸算出手段2、初期経由点算出手段3、干渉領域抽出手段4及び非最大移動軸修正手段5の少なくとも一部の機能は、メモリ92に格納されるプログラムを実行するプロセッサ91によって実現されてもよい。プロセッサ91は、CPU (Central Processing Unit)、処理システム、演算システム、マイクロプロセッサ、又はDSP (Digital Signal Processor) である。図27には、メモリ92も示されている。

【0115】

最大移動軸算出手段2、初期経由点算出手段3、干渉領域抽出手段4及び非最大移動軸修正手段5の少なくとも一部の機能がプロセッサ91によって実現される場合、当該一部の機能は、プロセッサ91と、ソフトウェア、ファームウェア、又は、ソフトウェアとファームウェアとの組み合わせとによって実現される。ソフトウェア又はファームウェアは、プログラムとして記述され、メモリ92に格納される。プロセッサ91は、メモリ92に記憶されたプログラムを読み出して実行することにより、最大移動軸算出手段2、初期

10

20

30

40

50

經由点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4 及び非最大移動軸修正手段 5 の少なくとも一部の機能を実現する。

【0116】

最大移動軸算出手段 2、初期經由点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4 及び非最大移動軸修正手段 5 の少なくとも一部の機能がプロセッサ 91 によって実現される場合、軌道生成装置 1 は、最大移動軸算出手段 2、初期經由点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4 及び非最大移動軸修正手段 5 によって実行されるステップの少なくとも一部が結果的に実行されることになるプログラムを格納するためのメモリ 92 を有する。メモリ 92 に格納されるプログラムは、最大移動軸算出手段 2、初期經由点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4 及び非最大移動軸修正手段 5 が実行する手順又は方法の少なくとも一部をコンピュータに実行させるものであるともいえる。

10

【0117】

メモリ 92 は、例えば、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)、EEPROM (登録商標) (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) 等の不揮発性若しくは揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク又は DVD (Digital Versatile Disk) 等である。

【0118】

図 28 は、実施の形態 1 に係る軌道生成装置 1 が有する最大移動軸算出手段 2、初期經由点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4 及び非最大移動軸修正手段 5 の少なくとも一部が処理回路 93 によって実現される場合の処理回路 93 を示す図である。つまり、最大移動軸算出手段 2、初期經由点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4 及び非最大移動軸修正手段 5 の少なくとも一部は、処理回路 93 によって実現されてもよい。

20

【0119】

処理回路 93 は、専用のハードウェアである。処理回路 93 は、例えば、単回路、複合回路、プログラム化されたプロセッサ、並列プログラム化されたプロセッサ、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field-Programmable Gate Array)、又はこれらを組み合わせたものである。

【0120】

最大移動軸算出手段 2、初期經由点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4 及び非最大移動軸修正手段 5 の一部は、残部とは別個の専用のハードウェアによって実現されてもよい。

30

【0121】

最大移動軸算出手段 2、初期經由点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4 及び非最大移動軸修正手段 5 の複数の機能について、当該複数の機能の一部がソフトウェア又はファームウェアで実現され、当該複数の機能の残部が専用のハードウェアで実現されてもよい。このように、最大移動軸算出手段 2、初期經由点算出手段 3、干渉領域抽出手段 4 及び非最大移動軸修正手段 5 の複数の機能は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、又はこれらの組み合わせによって実現することができる。

【0122】

実施の形態 2 から実施の形態 6 まで、実施の形態 11、実施の形態 15 及び実施の形態 16 の各非最大移動軸修正手段 5 の機能は、メモリに格納されるプログラムを実行するプロセッサによって実現されてもよい。当該メモリは、メモリ 92 と同様のメモリである。当該プロセッサは、プロセッサ 91 と同様のプロセッサである。実施の形態 2 から実施の形態 6 までの各非最大移動軸修正手段 5 は、処理回路によって実現されてもよい。当該処理回路は、処理回路 93 と同様の処理回路である。

40

【0123】

実施の形態 7 の動作分割判定手段 13、実施の形態 8 の直線補間挿入判定手段 14、実施の形態 9 の接続条件算出手段 15、実施の形態 10 の制御系影響考慮手段 16、実施の形態 13 の制約条件充足判定手段 18、実施の形態 14 の指令生成手段 19、実施の形態

50

14の指令修正手段20、実施の形態15のロボットコマンド決定手段21、実施の形態15の第1加減速決定手段31、実施の形態15の第2加減速決定手段51、実施の形態16の加減速パラメータ修正手段22、実施の形態16の第1加減速決定手段32、及び実施の形態16の第2加減速決定手段52の各々の機能は、メモリに格納されるプログラムを実行するプロセッサによって実現されてもよい。当該メモリは、メモリ92と同様のメモリである。当該プロセッサは、プロセッサ91と同様のプロセッサである。動作分割判定手段13、直線補間挿入判定手段14、接続条件算出手段15、制御系影響考慮手段16、制約条件充足判定手段18、指令生成手段19、指令修正手段20、ロボットコマンド決定手段21、第1加減速決定手段31、第2加減速決定手段51、加減速パラメータ修正手段22、第1加減速決定手段32及び第2加減速決定手段52の各々は、処理回路によって実現されてもよい。当該処理回路は、処理回路93と同様の処理回路である。

10

【0124】

以上の実施の形態に示した構成は、一例を示すものであり、別の公知の技術と組み合わせることも可能であるし、実施の形態同士を組み合わせることも可能であるし、要旨を逸脱しない範囲で、構成の一部を省略又は変更することも可能である。

【符号の説明】

【0125】

1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F, 1G, 1H 軌道生成装置、2 最大移動軸算出手段、3 初期経路点算出手段、4 干渉領域抽出手段、5 非最大移動軸修正手段、6 経路点第1修正手段、7 経路点第2修正手段、8 加減速考慮修正手段、9 回避方向最適化手段、10 回避点最適化手段、11 回避方向回避点最適化手段、12 加減速時間算出手段、13 動作分割判定手段、14 直線補間挿入判定手段、15 接続条件算出手段、16 制御系影響考慮手段、17 制約条件記憶手段、18 制約条件充足判定手段、19 指令生成手段、20 指令修正手段、21 ロボットコマンド決定手段、22 加減速パラメータ修正手段、31, 32 第1加減速決定手段、51, 52 第2加減速決定手段、91 プロセッサ、92 メモリ、93 処理回路。

20

30

40

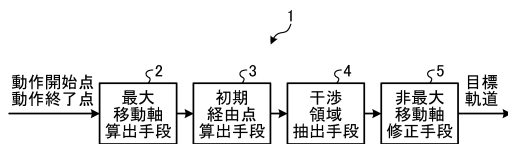
50

【要約】

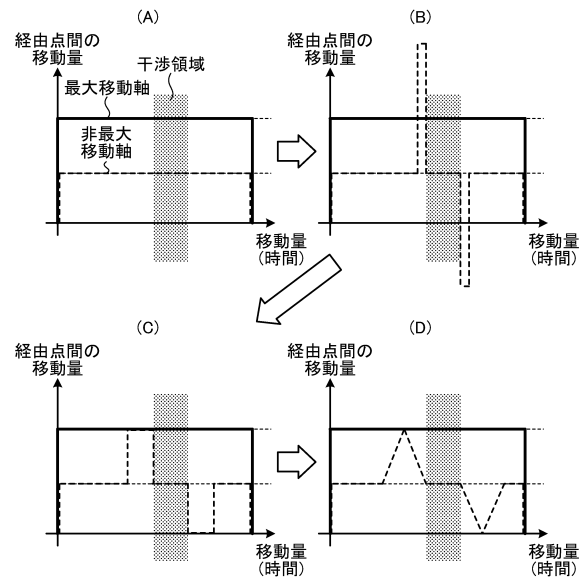
軌道生成装置（１）は、複数の軸のうちの動作開始点から動作終了点までの動作において最高速度に対する移動距離の比が最大となる最大移動軸を算出する最大移動軸算出手段（２）と、複数の軸が同期して動作する場合の経路点を生成する初期経路点算出手段（３）と、初期経路点算出手段（３）によって生成された複数の経路点のうちの周囲との干渉が発生する経路点を含む区間を抽出する干渉領域抽出手段（４）と、複数の軸のうちの最大移動軸算出手段（２）によって算出された最大移動軸以外の軸である非最大移動軸の位置を修正することで干渉を回避する経路点を生成する非最大移動軸修正手段（５）とを有する。軌道生成装置（１）は、非最大移動軸修正手段（５）の出力を目標軌道とする。

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

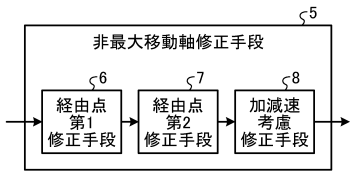
20

30

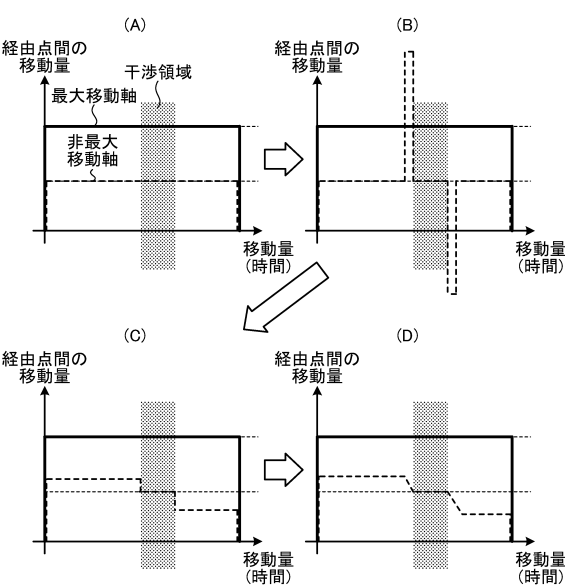
40

50

【図 3】

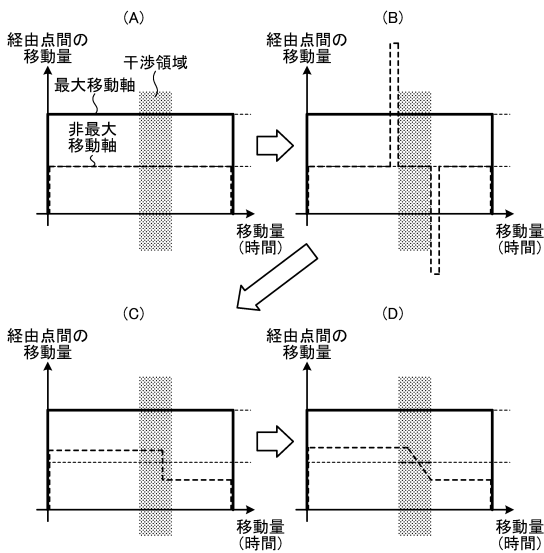


【図 4】

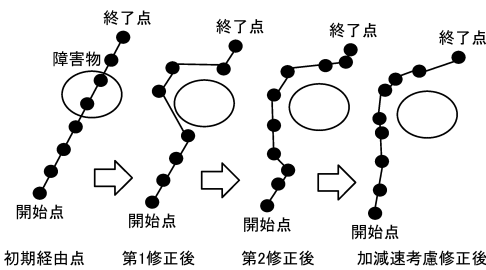


10

【図 5】



【図 6】



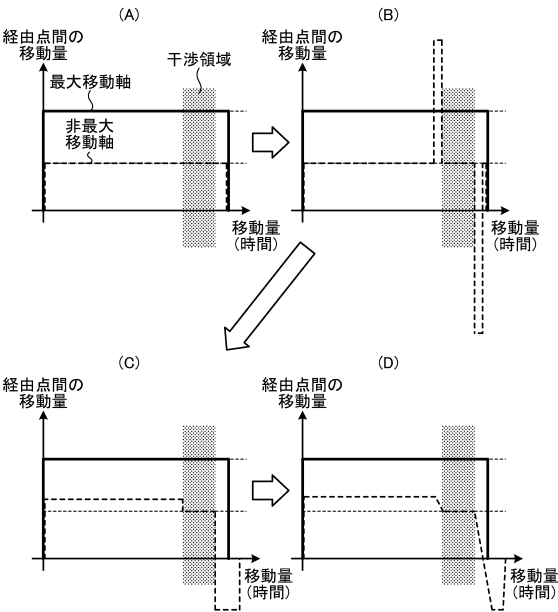
20

30

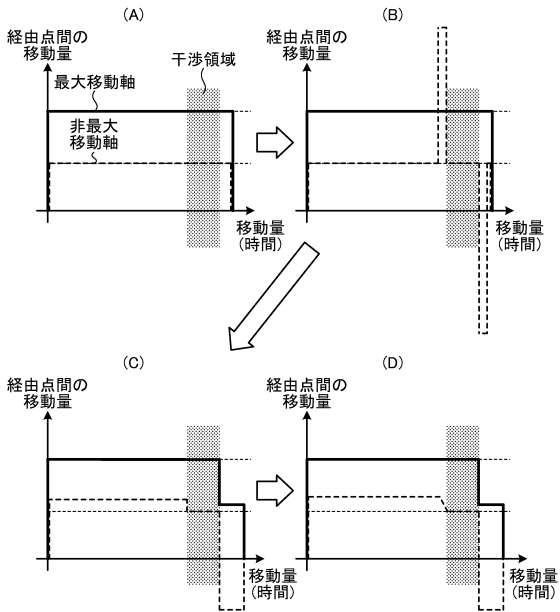
40

50

【図 7】



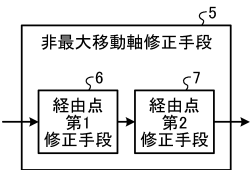
【図 8】



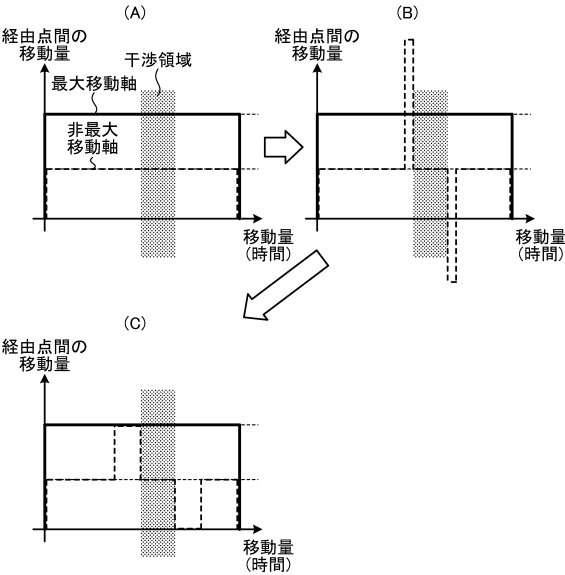
10

20

【図 9】



【図 10】

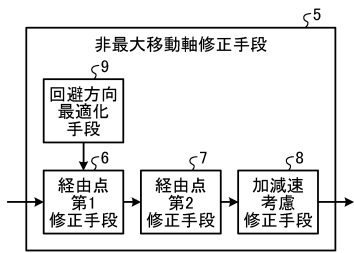


30

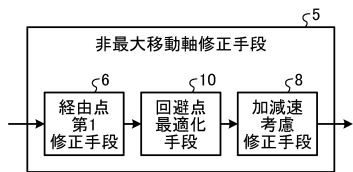
40

50

【図 1 1】

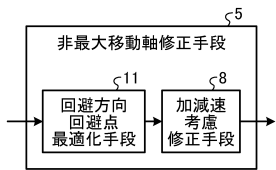


【図 1 2】

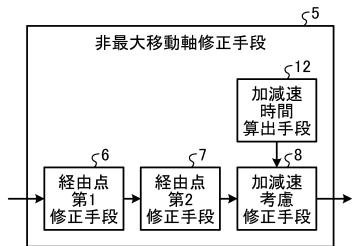


10

【図 1 3】



【図 1 4】



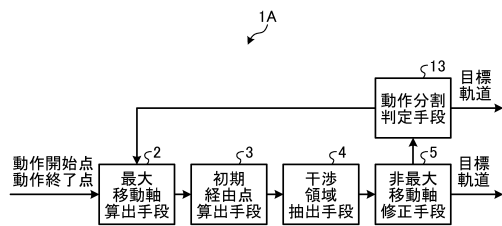
20

30

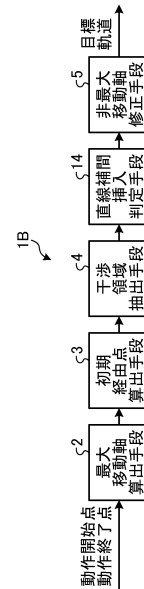
40

50

【図 1 5】



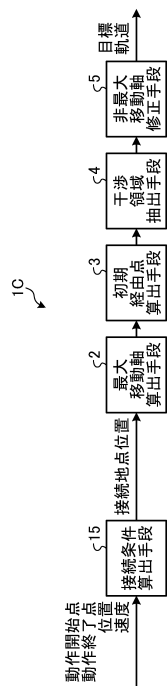
【図 1 6】



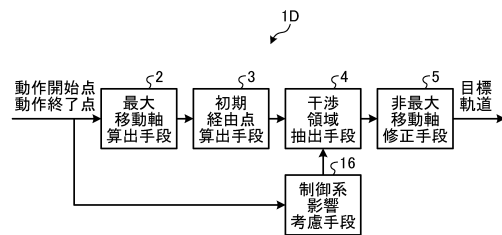
10

20

【図 1 7】



【図 1 8】

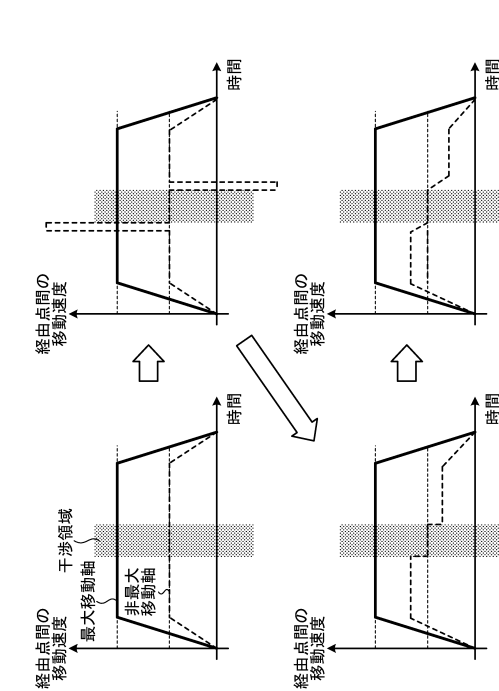


30

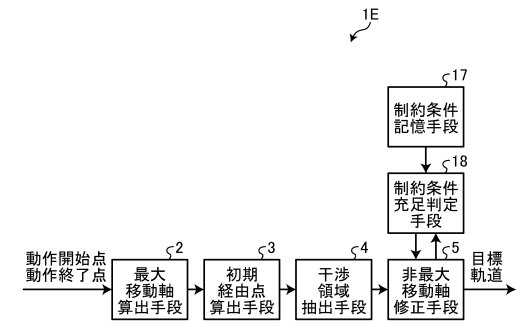
40

50

【図 19】



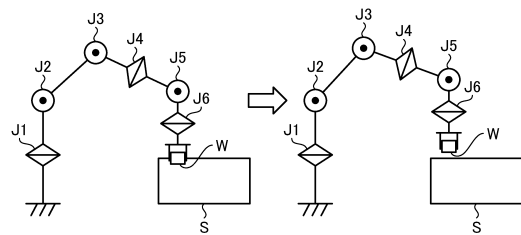
【図 20】



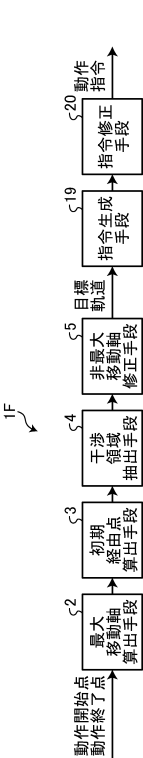
10

20

【図 21】



【図 22】

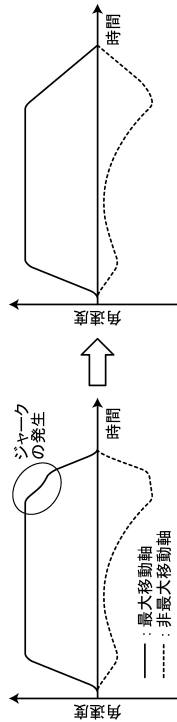


30

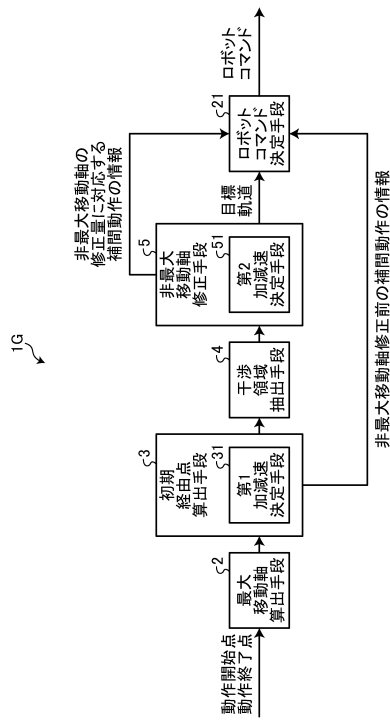
40

50

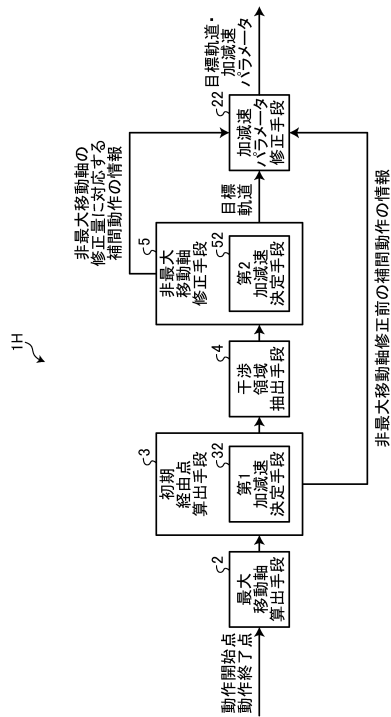
【図 2 3】



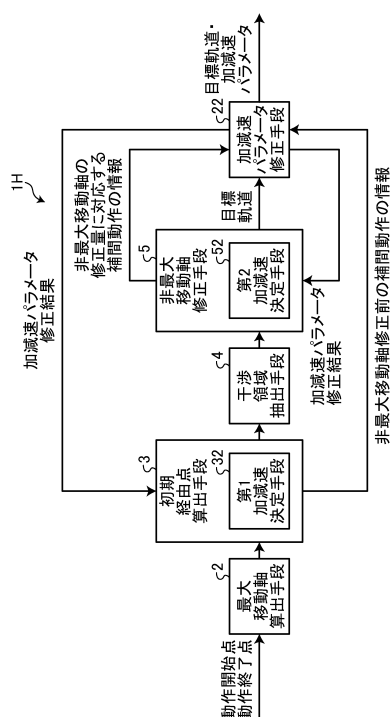
【図 2 4】



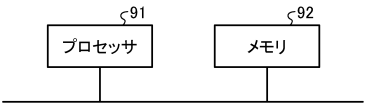
【図 2 5】



【図 2 6】



【図 2 7】



【図 2 8】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2022/009333 (WO, A1)
特開2022-012887 (JP, A)
特開2002-073130 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
B25J 1/00-21/02