

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4647919号
(P4647919)

(45) 発行日 平成23年3月9日(2011.3.9)

(24) 登録日 平成22年12月17日(2010.12.17)

(51) Int.Cl. F 1
B 2 5 J 9/10 (2006.01) B 2 5 J 9/10 Z

請求項の数 5 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2004-41702 (P2004-41702)	(73) 特許権者	000000974
(22) 出願日	平成16年2月18日 (2004. 2. 18)		川崎重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2005-230952 (P2005-230952A)		兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
(43) 公開日	平成17年9月2日 (2005. 9. 2)	(74) 代理人	100075557
審査請求日	平成19年1月12日 (2007. 1. 12)		弁理士 西教 圭一郎
		(74) 代理人	100072235
			弁理士 杉山 毅至
		(74) 代理人	100101638
			弁理士 廣瀬 峰太郎
		(73) 特許権者	000003207
			トヨタ自動車株式会社
			愛知県豊田市トヨタ町1番地
		(74) 代理人	100075557
			弁理士 西教 圭一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 制御方法および制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

多関節ロボットの制御方法であって、

多関節ロボットの各関節部(9~15)のうち基本4関節部(9~12)で多関節ロボットの遊端部(18)の位置を決定し、1つの関節部(14)の回転軸線(L14)と、その両側の関節部(13, 15)の各回転軸線(L13, L15)とが交差する3軸交点を有する残余の関節部(13~15)で前記遊端部(18)の姿勢を決定するときに、前記基本4関節部(9~12)のうちの予め定める1つの冗長関節部(9)に設定する冗長関節部設定段階と、

前記遊端部(18)を予め定める軌道上に保持しながら前記予め定める1つの冗長関節部(9)を予め定める変位置(1)だけプラス方向に角変位させた場合と、マイナス方向に角変位させた場合とのそれぞれについて、前記基本4関節部(9~12)のうち前記予め定める1つの冗長関節部(9)を除く関節部(10~12)の角度位置(2, 3, 4)を前記遊端部(18)の位置(X, Y, Z)に変換するヤコビ行列(J+, J-)の行列式(det(J+), det(J-))の絶対値(|det(J+)|, |det(J-)|)を比較し、値が大きい方向に前記予め定める1つの冗長関節部(9)を前記予め定める変位置(1)だけ角変位させる冗長関節制御段階とを含むことを特徴とする制御方法。

【請求項2】

前記多関節ロボットは直列に設けられる複数のアーム体(3~8)と、隣接する2つの

10

20

アーム体を回転自在に連結する関節部(9~15)とを有し、前記関節部(9~15)は、前記2つのアーム体を、各アーム体の軸線と同軸の回転軸線(L9, L13, L15)まわりに回転自在に連結する同軸関節部(9, 13, 15)と、前記2つのアーム体を、各アーム体の軸線に対して所定の角度を成して傾斜する回転軸線(L10, L11, L12, L14)まわりに回転自在に連結する傾斜関節部(10, 11, 12, 14)とを有し、

前記基本4関節部(9~12)は前記予め定める1つの同軸関節部(9)と3つの傾斜関節部(10, 11, 12)とを含むことを特徴とする請求項1に記載の制御方法。

【請求項3】

少なくとも前記予め定める1つの冗長関節部(9)の角度位置が可動範囲の限界位置に近づいた場合、前記遊端部(18)を予め定める軌道の上に保持しながら、前記予め定める1つの冗長関節部(9)の角度位置を前記可動範囲の中央位置に近づけるように前記予め定める1つの冗長関節部(9)を角変位させる補助制御段階をさらに含むことを特徴とする請求項1または2に記載の制御方法。

10

【請求項4】

多関節ロボットの制御装置であって、

多関節ロボットの各関節部(9~15)のうち基本4関節部(9~12)で前記多関節ロボットの遊端部(18)の位置を決定し、1つの関節部(14)の回転軸線(L14)と、その両側の関節部(13, 15)の各回転軸線(L13, L15)とが交差する3軸交点を有する残余の関節部(13~15)で前記遊端部(18)の姿勢を決定するときに、前記基本4関節部(9~12)のうちの予め定める1つの冗長関節部(9)に設定する冗長関節部設定手段(19)と、

20

前記遊端部(18)を予め定める軌道の上に保持しながら前記予め定める1つの冗長関節部(9)を予め定める変位量(1)だけプラス方向に角変位させた場合と、マイナス方向に角変位させた場合とのそれぞれについて、前記基本4関節部(9~12)のうち前記予め定める1つの冗長関節部(9)を除く関節部(10~12)の角度位置(2, 3, 4)を前記遊端部(18)の位置(X, Y, Z)に変換するヤコビ行列(J_+ , J_-)の行列式($\det(J_+)$, $\det(J_-)$)の絶対値($|\det(J_+)|$, $|\det(J_-)|$)を比較し、値が大きい方向に前記予め定める1つの冗長関節部(9)を前記予め定める変位量(1)だけ角変位させる冗長関節制御手段(19)とを含むことを特徴とする制御装置。

30

【請求項5】

少なくとも前記予め定める1つの冗長関節部(9)の角度位置が可動範囲の限界位置に近づいた場合、前記遊端部(18)を予め定める軌道の上に保持しながら、前記予め定める1つの冗長関節部(9)の角度位置を前記可動範囲の中央位置に近づけるように前記予め定める1つの冗長関節部(9)を角変位させる補助制御手段(19)をさらに含むことを特徴とする請求項4に記載の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、冗長関節部を含む複数の関節部を有する多関節ロボットを制御する制御方法および制御装置に関する。

40

【背景技術】

【0002】

7つ以上の複数の関節部を有する多関節ロボットの制御については、様々な方式があり、その典型的な従来技術が特許文献1および特許文献2に記載されている。特許文献1の多関節ロボットの制御装置では、多関節ロボットの先端関節が目標位置に距離的に近づくような関節角度を最小2乗法によって1軸ずつ求め、求めた目標角度と現在の関節角度との差に比例した量を1軸ずつ関節を回転させることによって、計算量を少なくして、先端の関節が目標位置に達するようにしている。特許文献2の多自由度マニピュレータの位置

50

決め装置では、手先位置姿勢情報とマニピュレータの全体形状の指定値とから全体形状を指定するための解曲線を求め、全リンクの端点が前記解曲線状に配置されるようにリンク端点位置を算出し、隣接する2リンクのリンク端点と根元側リンクの姿勢とから2リンク間の関節角を算出し、前記関節角から手先側リンクの姿勢を求め、リンク毎に根元から手先まで逐次的に前記関節角とリンク姿勢とを繰返し算出して全関節角を求めることで、位置決め算出を高速化する。

【0003】

また前述のような多関節ロボットが障害物を回避するような制御についても様々な方式があり、その典型的な従来技術が特許文献3に記載されている。特許文献3のマニピュレータの制御装置では、始点から終点へ把手を移動するとき、障害物に干渉する状態での各関節の変位を予め離散的に求め、各関節の変位を避けるように各関節の離散的な動作間をマニピュレータの関節補間または単軸動作によって制御する。

10

【0004】

また前述のような多関節ロボットを教示するための必要な情報を表示する典型的な従来技術が、特許文献4に記載されている。特許文献4の冗長自由度ロボット装置では、作業に必要な動作を記述する独立変数の現在値に依存する冗長パラメータの取り得る領域の演算を行って、その結果を表示することでロボット教示を行う。

【0005】

ロボットの空間内の各方向に対する制御仕様を実現する典型的な従来技術が、特許文献5に記載されている。特許文献5のロボットの制御方法では、ロボットに行わせる作業の仕様を作業空間に対して固定された座標系を用いて記述し、各座標軸方向および各座標軸まわりの方向の動作制御目標を明確化し、前記各方向へのロボットの姿勢状態のそれぞれに対応する方向への作業仕様に関する制御性能評価指標を計算し、それらの加重総合評価指標値が最も大きな値となるロボットの姿勢状態を最適姿勢状態とし、この状態で作業を実行させる。

20

【0006】

ロボットの動作限界近傍を回避した動作を教示データを作成する典型的な従来技術が、特許文献6に記載されている。特許文献6のロボットの動作軌跡教示装置では、冗長自由度を要素として、ロボットの関節角度空間の余裕を表現する評価関数に基づいて、前記冗長自由度を決定する。

30

【0007】

【特許文献1】特開2000-167789号公報

【特許文献2】特開平10-333723号公報

【特許文献3】特開平11-333780号公報

【特許文献4】特開平5-337861号公報

【特許文献5】特開平5-23982号公報

【特許文献6】特開平6-187020号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

前述の従来技術では、多関節ロボットの関節部のうち、冗長軸まわりに角変位する冗長関節部を角変位させて、エンドエフェクタなどの遊端部の特定方向への自由度が失われる特異点を回避するという制御は行われていない。

40

【0009】

本発明の目的は、多関節ロボットの冗長関節部を角変位させて特異点を回避する制御方法および制御装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明(1)は、多関節ロボットの制御方法であって、

多関節ロボットの各関節部(9~15)のうち基本4関節部(9~12)で多関節ロボ

50

ットの遊端部(18)の位置を決定し、1つの関節部(14)の回転軸線(L14)と、その両側の関節部(13, 15)の各回転軸線(L13, L15)とが交差する3軸交点を有する残余の関節部(13~15)で前記遊端部(18)の姿勢を決定するときに、前記基本4関節部(9~12)のうちの予め定める1つの冗長関節部(9)に設定する冗長関節部設定段階と、

前記遊端部(18)を予め定める軌道上に保持しながら前記予め定める1つの冗長関節部(9)を予め定める変位量(1)だけプラス方向に角変位させた場合と、マイナス方向に角変位させた場合とのそれぞれについて、前記基本4関節部(9~12)のうちの前記予め定める1つの冗長関節部(9)を除く関節部(10~12)の角度位置(2, 3, 4)を前記遊端部(18)の位置(X, Y, Z)に変換するヤコビ行列(J_+ , J_-)の行列式($\det(J_+)$, $\det(J_-)$)の絶対値($|\det(J_+)|$, $|\det(J_-)|$)を比較し、値が大きい方向に前記予め定める1つの冗長関節部(9)を前記予め定める変位量(1)だけ角変位させる冗長関節制御段階とを含むことを特徴とする制御方法である。

10

【0013】

また本発明(2)は、前記多関節ロボットは直列に設けられる複数のアーム体(3~8)と、隣接する2つのアーム体を回転自在に連結する関節部(9~15)とを有し、前記関節部(9~15)は、前記2つのアーム体を、各アーム体の軸線と同軸の回転軸線(L9, L13, L15)まわりに回転自在に連結する同軸関節部(9, 13, 15)と、前記2つのアーム体を、各アーム体の軸線に対して所定の角度を成して傾斜する回転軸線(L10, L11, L12, L14)まわりに回転自在に連結する傾斜関節部(10, 11, 12, 14)とを有し、

20

前記基本4関節部(9~12)は前記予め定める1つの同軸関節部(9)と3つの傾斜関節部(10, 11, 12)とを含むことを特徴とする。

【0014】

また本発明(3)は、少なくとも前記予め定める1つの冗長関節部(9)の角度位置が可動範囲の限界位置に近づいた場合、前記遊端部(18)を予め定める軌道上に保持しながら、前記予め定める1つの冗長関節部(9)の角度位置を前記可動範囲の中央位置に近づけるように前記予め定める1つの冗長関節部(9)を角変位させる補助制御段階をさらに含むことを特徴とする。

30

【0015】

また本発明(4)は、多関節ロボットの制御装置であって、

多関節ロボットの各関節部(9~15)のうち基本4関節部(9~12)で前記多関節ロボットの遊端部(18)の位置を決定し、1つの関節部(14)の回転軸線(L14)と、その両側の関節部(13, 15)の各回転軸線(L13, L15)とが交差する3軸交点を有する残余の関節部(13~15)で前記遊端部(18)の姿勢を決定するときに、前記基本4関節部(9~12)のうちの予め定める1つの冗長関節部(9)に設定する冗長関節部設定手段(19)と、

前記遊端部(18)を予め定める軌道上に保持しながら前記予め定める1つの冗長関節部(9)を予め定める変位量(1)だけプラス方向に角変位させた場合と、マイナス方向に角変位させた場合とのそれぞれについて、前記基本4関節部(9~12)のうちの前記予め定める1つの冗長関節部(9)を除く関節部(10~12)の角度位置(2, 3, 4)を前記遊端部(18)の位置(X, Y, Z)に変換するヤコビ行列(J_+ , J_-)の行列式($\det(J_+)$, $\det(J_-)$)の絶対値($|\det(J_+)|$, $|\det(J_-)|$)を比較し、値が大きい方向に前記予め定める1つの冗長関節部(9)を前記予め定める変位量(1)だけ角変位させる冗長関節制御手段(19)とを含むことを特徴とする制御装置である。

40

【0018】

また本発明(5)は、少なくとも前記予め定める1つの冗長関節部(9)の角度位置が可動範囲の限界位置に近づいた場合、前記遊端部(18)を予め定める軌道上に保持しな

50

がら、前記予め定める1つの冗長関節部(9)の角度位置を前記可動範囲の中央位置に近づけるように前記予め定める1つの冗長関節部(9)を角変位させる補助制御手段(19)をさらに含むことを特徴とする。

【発明の効果】

【0019】

本発明(1)、(4)によれば、多関節ロボットの関節部(9~15)のうち予め定める複数の関節部(9~12)の角度位置を、多関節ロボットの遊端部(18)の位置に変換するヤコビ行列の行列式の絶対値を計算し、ヤコビ行列の行列式の絶対値が予め定める設定値以下であるか否かを判定する。冗長関節制御では、前記遊端部(18)を予め定める軌道上に保持しながら前記ヤコビ行列の行列式の絶対値が大きい方向に予め定める1つの冗長関節部(9)を角変位させる。前記ヤコビ行列の行列式が零であるということは、多関節ロボットの遊端部(18)の特定の方向の自由度が失われる特異点であることを表すので、このような特異点に多関節ロボットの遊端部(18)が配置されないように、前記ヤコビ行列の行列式の絶対値が前記設定値よりも小さいと判定された場合には、前記予め定める1つの冗長関節部(9)を絶対値が大きい方向に角変位させて、特異点から遠ざけながら前記遊端部(18)を予め定める軌道上に保持することによって、多関節ロボットの遊端部(18)が特異点を確実に回避するように動作させることができる。

【0022】

また本発明(2)によれば、前記絶対値計算、前記判定および前記冗長関節制御を繰返して、直列に設けられる複数のアーム体(3~8)と、隣接する2つのアーム体を回転自在に連結する関節部とを有し、前記関節部(9~15)は、前記2つのアーム体を、各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する同軸関節部(9, 13, 15)と、前記2つのアーム体を、各アーム体の軸線に対して所定の角度を成して傾斜する回転軸線まわりに回転自在に連結する傾斜関節部(10, 11, 12, 14)とを有する多関節ロボットを、特異点を回避するように制御することができる。

【0023】

また本発明(3)によれば、補助制御段階では、少なくとも予め定める1つの関節部の角度位置が可動範囲の限界位置に近づいた場合、前記遊端部(18)を予め定める軌道上に保持しながら、前記関節部の角度位置を前記可動範囲の中央位置に近づけるように前記冗長関節部を角変位させる。これによって特異点を回避できるとともに、各関節部の角度位置が可動範囲を超えることを確実に防止できるので、多関節ロボットの動作領域を広くすることができる。

【0027】

また本発明(5)によれば、補助制御手段(19)は、少なくとも予め定める1つの関節部の角度位置が可動範囲の限界位置に近づいた場合、前記遊端部を予め定める軌道上に保持しながら、前記関節部の角度位置を前記可動範囲の中央位置に近づけるように前記冗長関節部を角変位させる。これによって特異点を回避できるとともに、各関節部の角度位置が可動範囲を超えることを確実に防止できるので、多関節ロボットの動作領域を広くすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0028】

図1は、本発明の実施の一形態の多関節ロボット1の制御装置2を示すブロック図である。多関節ロボット1は、7自由度を有する冗長自由度のロボットであり、複数の、本実施の形態では6つのアーム体3~8と、アーム体を回転自在に連結する複数の、本実施の形態では7つの関節部9~15とを有する。各アーム体3~8は、それぞれ連結されて直線状に延びるアーム構成体16を構成する。

【0029】

各関節部9~15は、同軸関節部と傾斜関節部とが組み合わされて設けられる。同軸関節部は、隣接する2つのアーム体を、その各アーム体の軸線と同軸の回転軸線まわりに回転自在に連結する。傾斜関節部は、隣接する2つのアーム体のうちの一方を、各アーム体

10

20

30

40

50

の軸線に対して傾斜する回転軸線まわりに円錐回転自在に連結する。詳細に述べると、第1関節部9、第5関節部13および第7関節部15は、同軸関節部であり、第2関節部10、第3関節部11、第4関節部12および第6関節部14は、傾斜関節部である。また本発明において、用語「回転」とは、回転軸線まわりの360度以上の回転だけでなく、軸線まわりに360度以下の角度で角変位する状態も含むものとする。

【0030】

アーム構成体16の一端部である第1アーム体3の一端部は、壁面などに固定される基台17に、第1関節部9によって、第1アーム体3の軸線L3と同軸の第1回転軸線L9まわりに回転自在に連結されている。第2アーム体4の一端部は、第2関節部10によって、第1アーム体3の軸線L3および第2アーム体4の軸線L4に対して所定の角度、本実施の形態では45度で傾斜する第2回転軸線L10まわりに回転自在に、第1アーム体3の他端部に連結される。第3アーム体5の一端部は、第3関節部11によって、第2アーム体4の軸線L4および第3アーム体5の軸線L5に対して所定の角度、本実施の形態では45度で傾斜する第3回転軸線L11まわりに回転自在に、第2アーム体4の他端部に連結される。第2回転軸線L10と第3回転軸線L11とは平行である。

10

【0031】

第4アーム体6の一端部は、第4関節部12によって、第3アーム体5の軸線L5および第4アーム体6の軸線L6に対して所定の角度、本実施の形態では45度で傾斜する第4回転軸線L12まわりに回転自在に、第3アーム体5の他端部に連結される。第3回転軸線L11と第4回転軸線L12とは垂直である。第5アーム体7の一端部は、第5関節部13によって、第4アーム体6の軸線L6および第5アーム体7の軸線L7と同軸の第5回転軸線L13まわりに回転自在に、第4アーム体6の他端部に連結される。

20

【0032】

アーム構成体16の他端部である第6アーム体8の一端部は、第6関節部14によって、第5アーム体7の軸線L7および第6アーム体8の軸線L8に対して所定の角度、本実施の形態では45度で傾斜する第6回転軸線L14まわりに回転自在に、第5アーム体7の他端部に連結される。多関節ロボット1の遊端部となるエンドエフェクタ18は、第6アーム体8の他端部に、第7関節部15によって、第6アーム体8の軸線L8と同軸の第7回転軸線L15まわりに回転自在に連結されている。エンドエフェクタ18は、たとえば溶接トーチおよびハンドリング装置などの手先装置であってもよい。

30

【0033】

各アーム体3～8は、各アーム体3～8を回転駆動するモータを内蔵する。また各アーム体3～8は、その軸線を挿通する中空空間が形成される。この中空空間に1または複数の配線が延びて配置される。各配線は、前記モータを駆動させるための電力、前記モータへの回転指令およびエンドエフェクタ18への電力および圧縮空気などを供給する。

【0034】

各アーム体3～8を回転軸線L9～L15まわりに回転する回転機構は、従来の機構と同様であってもよい。前記回転機構は、一例を挙げると、中空形状の波動歯車機構、たとえばハーモニックドライブ(登録商標)を用いてもよい。波動歯車機構は、入力側部材と出力側部材とを備え、それらが相対的に回転する。入力側部材は、各関節部9～15によって連結する2つの部材(基台およびアーム体)の一方に連結され、出力側部材は、前記2つの部材のうち他方に連結される。モータからの回転が入力側部材に与えられると、入力側部材と出力側部材とが相対的に回転する。これによって一方のアーム体と他方のアーム体とを相対的に回転させることができる。このような回転機構が、各アーム体3～8に設けられることによって、隣接する2つのアーム体を相対的に回転させることができる。

40

【0035】

制御装置2は、中央演算処理部19および入力部を備える。中央演算処理部19は、たとえばCPUおよびメモリなどで実現され、多関節ロボット1を制御するために必要な演算を行って、その演算結果を動作指令として多関節ロボット1に与える。入力部は中央演算処理装置19に各種情報を入力する。

50

【 0 0 3 6 】

図 2 は、多関節ロボット 1 の特異点を回避するように、多関節ロボット 1 を制御する制御方法の第 1 の実施例の手順を示すフローチャートである。ステップ s 0 で手順が開始されて、ステップ s 1 に進む。

【 0 0 3 7 】

絶対値計算段階であるステップ s 1 では、絶対値計算手段である中央演算処理部 1 9 は、前記多関節ロボット 1 の関節部 9 ~ 1 5 のうち予め定める複数の関節部、本実施の形態では第 1 ~ 第 4 関節部 9 ~ 1 2 の角度位置 ($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$) のうち、さらに外部から値が与えられる 1 つの関節部、本実施の形態では第 1 関節部 9 を除く第 2 ~ 第 4 関節部 1 0 ~ 1 2 の角度位置 ($\theta_2, \theta_3, \theta_4$) を、多関節ロボット 1 のエンドエフェクタ 1 8 の位置 (X , Y , Z) に変換する擬似的なヤコビ行列 J の行列式 d e t (J) の絶対値 | d e t (J) | を計算してステップ s 2 に進む。前記ヤコビ行列 J は、次式 (1) で表される。

10

【 0 0 3 8 】

【 数 1 】

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial X}{\partial \theta_2} & \frac{\partial X}{\partial \theta_3} & \frac{\partial X}{\partial \theta_4} \\ \frac{\partial Y}{\partial \theta_2} & \frac{\partial Y}{\partial \theta_3} & \frac{\partial Y}{\partial \theta_4} \\ \frac{\partial Z}{\partial \theta_2} & \frac{\partial Z}{\partial \theta_3} & \frac{\partial Z}{\partial \theta_4} \end{pmatrix} \quad \dots(1)$$

20

【 0 0 3 9 】

判定段階であるステップ s 2 では、判定手段である中央演算処理部 1 9 は、前記ヤコビ行列 J の行列式 d e t (J) の絶対値 | d e t (J) | が、入力部から入力された予め定める設定値 | d e t (J _ s e t) | よりも小さいか否かを判定し、前記設定値 | d e t (J _ s e t) | 以下であると判定するとステップ s 3 に進み、前記設定値 | d e t (J _ s e t) | を超えると判定するとステップ s 1 0 に進む。

【 0 0 4 0 】

冗長関節制御段階であるステップ s 3 では、冗長関節制御手段である中央演算処理部 1 9 は、エンドエフェクタ 1 8 を予め定める軌道上に保持しながら前記ヤコビ行列 J の行列式 d e t (J) の絶対値 | d e t (J) | を大きくするように冗長となる関節部である第 1 関節部 9 を角変位してステップ s 4 に進む。このとき中央演算処理部 1 9 は、エンドエフェクタ 1 8 の位置および姿勢を保持した状態で、第 1 関節部 9 を現在位置から、予め定める変位量 θ_1 だけプラスの方向に角変位して、残余の関節部である第 2 ~ 第 7 関節部 1 0 ~ 1 5 の角度位置 ($\theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7$) を逆変換によって求め、さらに第 1 関節部 9 を現在位置から、予め定める変位量 θ_1 だけマイナスの方向に角変位して、残余の関節部である第 2 ~ 第 7 関節部 1 0 ~ 1 5 の角度位置 ($\theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7$) を逆変換によって求めて、ステップ s 4 に進む。

30

【 0 0 4 1 】

ステップ s 4 では、中央演算処理部 1 9 は、ステップ s 3 において第 1 関節部 9 を現在角度位置から、予め定める変位量 θ_1 だけ予め定めるプラスの方向に角変位したときのヤコビ行列 J + の行列式 d e t (J +) と、第 1 関節部 9 を現在角度位置から、予め定める変位量 θ_1 だけ前記プラス方向とは逆方向のマイナスの方向に角変位したときのヤコビ行列 J - の行列式 d e t (J -) とを求めて、ステップ s 5 に進む。

40

【 0 0 4 2 】

ステップ s 5 では、中央演算処理部 1 9 は、ステップ s 3 において第 1 関節部 9 を現在の角度位置から、予め定める変位量 θ_1 だけプラスの方向に角変位したときのヤコビ行列 J + の行列式 d e t (J +) の絶対値 | d e t (J +) | が、第 1 関節部 9 を現在の角度位置から、予め定める変位量 θ_1 だけマイナスの方向に角変位したときのヤコビ行列

50

J の行列式 $\det(J)$ の絶対値 $|\det(J)|$ を超えるか否かを判断し、超え
ると判断するとステップ s 6 に進み、超えないと判断するとステップ s 9 に進む。

【0043】

ステップ s 6 では、中央演算処理部 19 は、第 1 関節部 9 を現在の角度位置からプラス
の方向に角変位して、ステップ s 7 に進む。

【0044】

ステップ s 7 では、中央演算処理部 19 は、多関節ロボット 1 の関節部 9 ~ 15 のうち
冗長関節部である第 1 関節部 9 を除く第 2 ~ 第 7 関節部 10 ~ 15 の角度位置 ($\theta_2,$
 $\theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7$) を逆変換によって求めて、ステップ s 8 に進み、全ての手
順を終了する。

10

【0045】

ステップ s 9 では、中央演算処理部 19 は、第 1 関節部 9 を現在の角度位置からマイナ
スの方向に角変位して、ステップ s 7 に進む。

【0046】

ステップ s 10 では、中央演算処理部 19 は、常時最適化を行うか否かを判断し、行う
と判断するとステップ s 3 に進み、行わないと判断するとステップ s 11 に進む。

【0047】

ステップ s 11 では、中央演算処理部 19 は、多関節ロボット 1 の関節部 9 ~ 15 のう
ち冗長関節部である第 1 関節部 9 を角変位させないで、ステップ s 7 に進む。

【0048】

20

また中央演算処理部 19 は、以上のような絶対値計算段階、判定段階および冗長関節制
御段階を繰返して、多関節ロボット 1 の特異点を回避するように多関節ロボット 1 を制御
してもよい。

【0049】

本実施例では、第 1 関節部 9 を冗長関節部としたけれども、冗長関節部は、第 1 ~ 第 4
関節部 9 ~ 12 のいずれか 1 つであってもよい。本実施例で第 1 関節部 9 を冗長関節部と
したのは、多関節ロボット 1 のエンドエフェクタ 18 の位置 (X, Y, Z) および第 1 関
節部 9 の角度位置 θ_1 から第 2 ~ 第 4 関節部 10 ~ 12 の各角度位置 $\theta_2 \sim \theta_4$ を導出す
ることが数学的に最も容易である。一方、たとえば多関節ロボット 1 のエンドエフェクタ
18 の位置 (X, Y, Z) および第 2 関節部 10 の角度位置 θ_2 から第 1、第 3 および第
4 関節部 9, 11, 12 の各角度位置 $\theta_1, \theta_3, \theta_4$ を導出することはできないことは
ないけれども、数学的には煩雑となる。

30

【0050】

前述のヤコビ行列 J の行列式 $\det(J)$ の絶対値 $|\det(J)|$ は、関係する各関
節部の各角度位置だけでなく、多関節ロボット 1 の各アーム体 3 ~ 8 の長さ $L_a, L_b,$
 L_c, L_d, L_e, L_e, L_f に依存するので、予め定める設定値 $|\det(J_{set})|$
を包括的に最適化することは困難である。このため前記設定値 $|\det(J_{set})|$
の決定においては、事前にコンピュータシミュレーション等を用いて、利用者が希望す
る値を決定することが望ましい。一般的に前記設定値 $|\det(J_{set})|$ の値を小さく
すると、特異点のごく近傍を除いて、特異点の回避が行われないので、多関節ロボット 1
の動作を直感的に把握し易くなる。また多関節ロボット 1 の各アーム体 3 ~ 8 の移動速度
が速い場合には、エンドエフェクタ 18 が誤って特異点に陥る可能性が僅かながら存在す
る。また前記設定値 $|\det(J_{set})|$ を十分に大きくした場合には、エンドエフェ
クタ 18 が常に特異点近傍にあるとされるので、特異点回避のための自由度が少なくなる
可能性がある。

40

【0051】

前記設定値 $|\det(J_{set})|$ をより小さくすれば、ロボットの動作は直感と一致
するようになるけれども、設定値に応じて特異点に陥る可能性がより高くなる傾向がある
。また前記設定値 $|\det(J_{set})|$ をより大きくすれば、その大きさに応じて、特
異点を回避するための自由度が減少する傾向がある。したがって前記設定値 $|\det(J$

50

s e t) | は、小さすぎても大きすぎても良くなく、その最適値は前述のように多関節ロボット 1 の各アーム長に依存するので、シミュレーションによって導出することが望ましい。

【 0 0 5 2 】

また前述の制御方法において、少なくとも 1 つの関節部の所定の位置からの角度位置が可動範囲の限界位置に近づいた場合、エンドエフェクタ 1 8 を予め定める軌道上に保持しながら、当該関節部の角度位置を前記可動範囲の中央位置に近づけるように冗長となる関節部を角変位させる補助制御段階をさらに含むようにしてもよい。具体的には、冗長となる関節部をプラス方向およびマイナス方向に予め定める変位量 だけ角変位させて、冗長関節部のそれぞれの角度位置と希望するエンドエフェクタ 1 8 の位置とから逆変換することによって、可動範囲の限界位置に近づいた関節部の角度位置を計算して、前記限界位置から遠ざかるものを採用する。

10

【 0 0 5 3 】

本実施の形態において、予め定める軌道とは、多関節ロボット 1 が行う作業に応じて、たとえばアーク溶接時の溶接線およびマテリアルハンドリング時の荷物の通過軌道に応じて、操作者がオンラインまたはオフラインで教示する軌道である。また予め定める変位量 () は、多関節ロボット 1 において用いられるモータおよび制御器の性能によって決定される。たとえばモータの最高速度が 3 0 度毎秒であり、制御器のサンプリングタイムが 0 . 1 秒であった場合には、 のとることができる最大値は、3 度 (= 3 0 度毎秒 × 0 . 1 秒) であるけれども、実際には、この値に加速時間および安全係数を見込んだ値が用いられる。

20

【 0 0 5 4 】

図 3 は、多関節ロボット 1 の特異点を回避するように、多関節ロボット 1 を制御する制御方法の第 2 の実施例の手順を示すフローチャートである。ステップ t 0 で手順が開始されて、ステップ t 1 に進む。

【 0 0 5 5 】

冗長関節部設定段階であるステップ t 1 では、冗長関節部設定手段である中央演算処理部 1 9 は、多関節ロボット 1 の各関節部 9 ~ 1 5 のうち 予め定める 1 つの同軸関節部である第 1 関節部 9 と 3 つの傾斜関節部である第 2 ~ 第 4 関節部 1 0 ~ 1 2 とを含む基本 4 関節部 9 ~ 1 2 で多関節ロボット 1 のエンドエフェクタ 1 8 の位置を決定し、1 つの関節部 1 4 の回転軸線 L 1 4 と、その両側の関節部 1 3 , 1 5 の各回転軸線 L 1 3 , L 1 5 とが交差する 3 軸交点を有する残余の第 5 ~ 第 7 関節部 1 3 ~ 1 5 で前記エンドエフェクタ 1 8 の姿勢を決定するとき、前記基本 4 関節部 9 ~ 1 2 のうちの 1 つ、本実施例では入力部によって第 1 関節部 9 を冗長関節部に設定入力して、ステップ t 2 に進む。

30

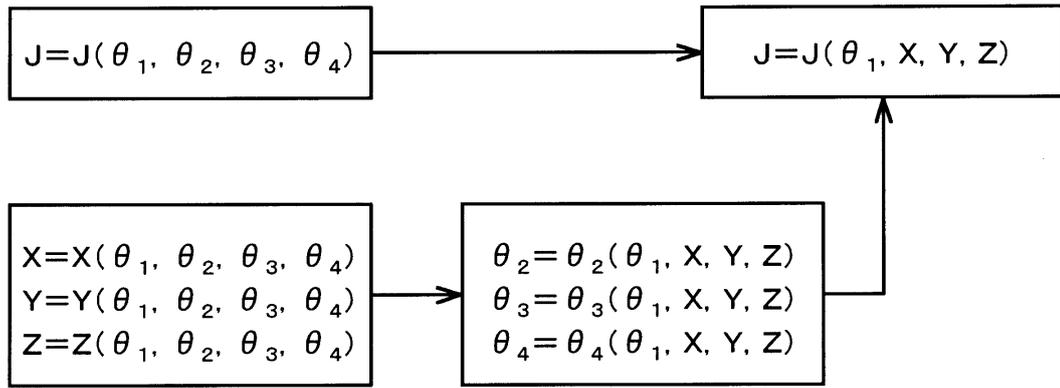
【 0 0 5 6 】

行列生成段階であるステップ t 2 では、行列生成手段である中央演算処理部 1 9 は、前記基本 4 関節部 9 ~ 1 2 のうち冗長関節部となる第 1 関節部 9 を除く第 2 ~ 第 4 関節部 1 0 ~ 1 2 の角度位置 (, ,) を、エンドエフェクタの位置 (X , Y , Z) に変換する擬似的なヤコビ行列 J を、エンドエフェクタ 1 8 の位置 (X , Y , Z) と第 1 関節部 9 の角度位置 1 で表して、ステップ t 3 に進む。このときの前記ヤコビ行列 J = J (, X , Y , Z) は、次式 (2) のようにして求められる。

40

【 0 0 5 7 】

【数 2】



10

【0058】

冗長関節制御段階であるステップ t 3 では、冗長関節制御手段である中央演算処理部 19 は、エンドエフェクタ 18 を予め定める軌道の上に保持しながら、前記ヤコビ行列 J の行列式 $\det(J)$ の絶対値 $|\det(J)|$ を最大にするように第 1 関節部 9 を角変位させてステップ t 4 に進み、全ての手順を終了する。また前記ヤコビ行列 J の行列式 $\det(J)$ の絶対値 $|\det(J)|$ の代わりに、前記ヤコビ行列 J の 2 乗としてもよく、これは数学的に等価であるからである。

【0059】

以上のように本実施例では、前記ヤコビ行列 J の行列式 $\det(J)$ の絶対値 $|\det(J)|$ を最大にするように第 1 関節部 9 を角変位させることによって、前記第 1 関節部 9 の角度位置 θ_1 が決定し、希望するエンドエフェクタ 18 の位置 (X, Y, Z) を実現するうちに、特異点から最も離れたエンドエフェクタ 18 の位置を実現することができる。

20

【0060】

また前述の制御方法において、少なくとも 1 つの関節部の所定の位置からの角度位置が可動範囲の限界位置に近づいた場合、エンドエフェクタ 18 を予め定める軌道の上に保持しながら、当該関節部の角度位置を前記可動範囲の中央位置に近づけるように冗長となる関節部を角変位させる補助制御段階をさらに含むようにしてもよい。具体的には、冗長となる関節部をプラス方向およびマイナス方向に予め定める変位量だけ角変位させて、冗長関節部のそれぞれの角度位置と希望するエンドエフェクタ 18 の位置とから逆変換することによって、可動範囲の限界位置に近づいた関節部の角度位置を計算して、前記限界位置から遠ざかるものを採用する。

30

【0061】

本実施例では、第 1 関節部 9 を冗長関節部としたけれども、冗長関節部は、第 1 ~ 第 4 関節部 9 ~ 12 のいずれか 1 つであってもよい。本実施例で第 1 関節部 9 を冗長関節部としたのは、多関節ロボット 1 のエンドエフェクタ 18 の位置 (X, Y, Z) および第 1 関節部 9 の角度位置 θ_1 から第 2 ~ 第 4 関節部 10 ~ 12 の各角度位置 $\theta_2 \sim \theta_4$ を導出することが数学的に最も容易である。一方、たとえば多関節ロボット 1 のエンドエフェクタ 18 の位置 (X, Y, Z) および第 2 関節部 10 の角度位置 θ_2 から第 1、第 3 および第 4 関節部 9, 11, 12 の各角度位置 $\theta_1, \theta_3, \theta_4$ を導出することはできないことはないけれども、数学的には煩雑となる。

40

【0062】

図 4 は、多関節ロボット 1 の特異点を回避するように、多関節ロボット 1 を制御する制御方法の第 3 の実施例の手順を示すフローチャートである。ステップ u 0 で手順が開始されて、ステップ u 1 に進む。

【0063】

条件導出段階であるステップ u 1 では、中央演算処理部 19 は、多関節ロボット 1 の関節部 9 ~ 15 のうち 1 つの同軸関節部である第 1 関節部 9 と 3 つの傾斜関節部である第 2

50

～第4関節部10～12とを含む基本4関節部9～12で多関節ロボット1のエンドエフェクタ18の位置を決定し、残余の関節部13～15で前記エンドエフェクタ18の姿勢を決定するときに、前記基本4関節部9～12の角度位置 $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4)$ を前記エンドエフェクタ18の位置 (X, Y, Z) に変換するヤコビ行列Jの階数(rank)が3未満になる条件を導出して、ステップu2に進む。

【0064】

ステップu1で導出される前記ヤコビ行列Jの階数が3未満になる条件は、次式(2)～式(4)である。

【0065】

【数3】

$$\sin\theta_4 = 0 \quad \text{かつ} \quad L_b \sin\theta_2 + (L_c + L_d + L_e) \sin(\theta_2 + \theta_3) = 0 \quad \dots(2)$$

$$\sin\theta_3 = 0 \quad \text{かつ} \quad \sin\theta_4 = 0 \quad \dots(3)$$

$$\sin\theta_2 = 0 \quad \text{かつ} \quad (L_d + L_e) \cos\theta_3 \sin\theta_4 - (L_c + L_d + L_e) \sin\theta_3 = 0 \quad \dots(4)$$

【0066】

前式(2)～(4)において、 L_b は、第2アーム体4の軸線方向の寸法であり、 L_c は、第3アーム体5の軸線方向の寸法であり、 L_d は、第4アーム体6の軸線方向の寸法であり、 L_e は、第5アーム体7の軸線方向の寸法である。

【0067】

冗長関節制御段階であるステップu2では、中央演算処理部19は、前記ヤコビ行列Jの階数が3以上になるように、多関節ロボットの関節部のうち予め定める冗長関節部の角度を導出して、前記冗長関節部を角変位させてステップu3に進み、全ての手順を終了する。

【0068】

前式(2)～式(4)のうち、式(2)および式(3)については、 θ_4 を0度および180度から遠ざけることによって、前記ヤコビ行列Jの階数が3未満になることを回避でき、 θ_4 が90度および270度に近づくと、特異点からかなり遠ざかることになる。したがって θ_4 を90度または270度にする限り近づけるように、冗長となる関節部、たとえば第1関節部9の角度位置 θ_1 を決定するという簡便な方法によって、全ての特異点のうちの約3分の2を回避することができる。また式(4)については、前述のよう

【0069】

また前述の制御方法において、少なくとも1つの関節部の所定の位置からの角度位置が可動範囲の限界位置に近づいた場合、エンドエフェクタ18を予め定める軌道上に保持しながら、当該関節部の角度位置を前記可動範囲の中央位置に近づけるように冗長となる関節部を角変位させる補助制御段階をさらに含むようにしてもよい。具体的には、冗長となる関節部をプラス方向およびマイナス方向に予め定める変位量だけ角変位させて、冗長関節部のそれぞれの角度位置と希望するエンドエフェクタ18の位置とから逆変換することによって、可動範囲の限界位置に近づいた関節部の角度位置を計算して、前記限界位置から遠ざかるものを採用する。

【図面の簡単な説明】

【0070】

【図1】本発明の実施の一形態の多関節ロボット1の制御装置2を示すブロック図である。

【図2】多関節ロボット1の特異点を回避するように、多関節ロボット1を制御する制御方法の第1の実施例の手順を示すフローチャートである。

10

20

30

40

50

【図3】多関節ロボット1の特異点を回避するように、多関節ロボット1を制御する制御方法の第2の実施例の手順を示すフローチャートである。

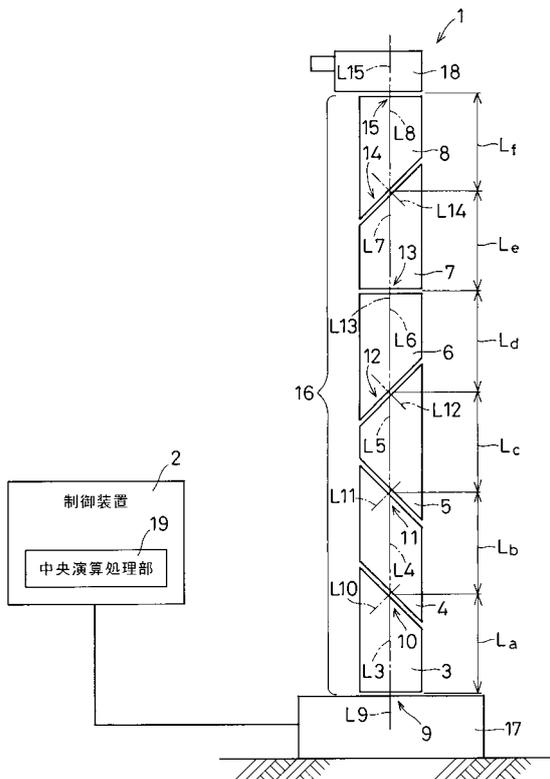
【図4】多関節ロボット1の特異点を回避するように、多関節ロボット1を制御する制御方法の第3の実施例の手順を示すフローチャートである。

【符号の説明】

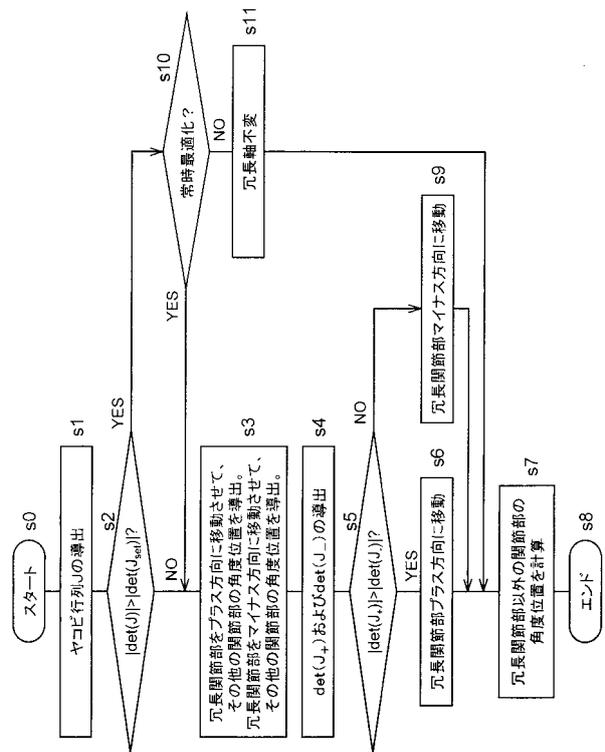
【0071】

- 1 多関節ロボット
- 2 制御装置
- 9 ~ 15 関節部
- 18 エンドエフェクタ
- 19 中央演算処理部

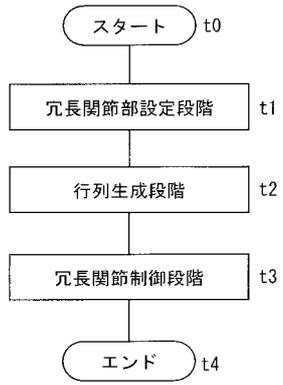
【図1】



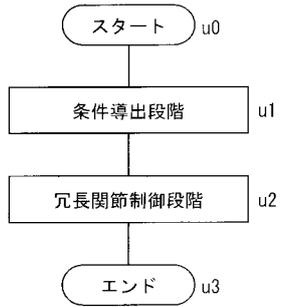
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(74)代理人 100072235

弁理士 杉山 毅至

(72)発明者 八木 栄一

兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社 明石工場内

(72)発明者 土井 利尚

兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社 明石工場内

(72)発明者 掃部 雅幸

兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社 明石工場内

審査官 植村 森平

(56)参考文献 特開平05-228863(JP,A)

特開平10-138180(JP,A)

特開昭63-118804(JP,A)

特開昭56-163624(JP,A)

実開平04-115592(JP,U)

特開平10-225881(JP,A)

特開平06-143172(JP,A)

特開平05-228854(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J 1/00-21/02