

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3545486号
(P3545486)

(45) 発行日 平成16年7月21日(2004.7.21)

(24) 登録日 平成16年4月16日(2004.4.16)

(51) Int.Cl.⁷G05B 19/18
B25J 9/10

F I

G05B 19/18 D
B25J 9/10 Z

請求項の数 5 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願平7-68949	(73) 特許権者	390008235
(22) 出願日	平成7年3月3日(1995.3.3)		ファナック株式会社
(65) 公開番号	特開平8-241108		山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358
(43) 公開日	平成8年9月17日(1996.9.17)		〇番地
審査請求日	平成14年3月4日(2002.3.4)	(74) 代理人	100082304
			弁理士 竹本 松司
		(74) 代理人	100088351
			弁理士 杉山 秀雄
		(74) 代理人	100093425
			弁理士 湯田 浩一
		(74) 代理人	100102495
			弁理士 魚住 高博
		(74) 代理人	100101915
			弁理士 塩野入 章夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 同軸手首ロボットの姿勢制御動作における急動作回避方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ソフトウェア処理能力を有するロボット制御装置によって制御されるとともに手先側から順に α 軸、 β 軸、 γ 軸の3軸で構成される同軸手首を備えたロボットの姿勢制御動作における急動作回避方法であって、

前記姿勢制御動作時に各補間点について実行されるソフトウェア処理が、

特異姿勢への接近を判断する処理と、

該処理によって特異姿勢に接近したと判断された際には前記特異姿勢を通過するように動作指令を修正する処理と、

手首形態を決定する処理を含み、

前記手首形態を決定する処理において、前回の補間処理における手首軸値が考慮され、前記前回の補間処理で定められた補間点における α 値並びに γ 値から、前記当該補間点における α 軸の軸値並びに γ 軸の軸値への変化量が 90° を越えないように前記同軸手首の形態が選択される、前記同軸手首ロボットの姿勢制御動作における急動作回避方法。

【請求項2】

ソフトウェア処理能力を有するロボット制御装置によって制御されるとともに手先側から順に α 軸、 β 軸、 γ 軸の3軸で構成される同軸手首を備えたロボットの姿勢制御動作における急動作回避方法であって、

前記姿勢制御動作時に各補間点について実行されるソフトウェア処理が、

特異姿勢への接近を判断する処理と、

10

20

該処理によって特異姿勢に接近したと判断された際には前記特異姿勢を通過するように動作指令を修正する処理と、

手首形態を決定する処理を含み、

前記手首形態を決定する処理において、前回の補間処理における手首軸値が考慮され、前記前回の補間処理で定められた補間点における y 値から、前記当該補間点における y 軸の軸値への変化量が 90° を越えないように前記同軸手首の形態が選択される、前記同軸手首ロボットの姿勢制御動作における急動作回避方法。

【請求項 3】

ソフトウェア処理能力を有するロボット制御装置によって制御されるとともに手先側から順に α 軸、 β 軸、 y 軸の 3 軸で構成される同軸手首を備えたロボットの姿勢制御動作における急動作回避方法であって、

前記姿勢制御動作時に各補間点について実行されるソフトウェア処理が、

特異姿勢への接近を判断する処理と、

該処理によって特異姿勢に接近したと判断された際には前記特異姿勢を通過するように動作指令を修正する処理と、

手首形態を決定する処理を含み、

前記手首形態を決定する処理において、前回の補間処理における β 軸の軸値と y 軸の軸値が考慮され、前記前回の補間処理で定められた補間点における y 値から、前記当該補間点における y 軸の軸値への変化量が 90° を越えないように前記同軸手首の形態が選択される、前記同軸手首ロボットの姿勢制御動作における急動作回避方法。

【請求項 4】

ソフトウェア処理能力を有するロボット制御装置によって制御されるとともに手先側から順に α 軸、 β 軸、 y 軸の 3 軸で構成される同軸手首を備えたロボットの姿勢制御動作における急動作回避方法であって、

前記姿勢制御動作時に各補間点について実行されるソフトウェア処理が、

特異姿勢への接近を判断する処理と、

該処理によって特異姿勢に接近したと判断された際には前記特異姿勢を通過するように動作指令を修正する処理と、

手首形態を決定する処理を含み、

前記手首形態を決定する処理において、前回の補間処理における手首軸値が考慮され、前記前回の補間処理で定められた補間点における α 値及び y 値から、前記当該補間点における α 軸の軸値並びに y 軸の軸値への変化量が相対的に大きくない方の手首軸位置が選択されるように前記同軸手首の形態が選択される、前記同軸手首ロボットの姿勢制御動作における急動作回避方法。

【請求項 5】

ソフトウェア処理能力を有するロボット制御装置によって制御されるとともに手先側から順に α 軸、 β 軸、 y 軸の 3 軸で構成される同軸手首を備えたロボットの姿勢制御動作における急動作回避方法であって、

前記姿勢制御動作時に各補間点について実行されるソフトウェア処理が、

特異姿勢への接近を判断する処理と、

該処理によって特異姿勢に接近したと判断された際には前記特異姿勢を通過するように動作指令を修正する処理と、

手首形態を決定する処理を含み、

前記手首形態を決定する処理において、前回の補間処理における β 軸の軸値及び y 軸の軸値が考慮され、前記前回の補間処理で定められた補間点における y 値から測った前記当該補間点における y 軸の軸値の変化量が 90° を越えないように前記同軸手首の形態が選択され、

該選択が次式、

$p = (a_z \times \cos y_0) + (a_y \times \sin y_0)$ 、[但し、 y_0 は手首形態を決定しようとしている補間点の 1 つ手前の補間点の y 値、 a_z 、 a_y は手首根元座標系から見たツール

10

20

30

40

50

姿勢を表わす行列の一部をなすアプローチベクトルの z 成分並びに y 成分]、

で定義される指標を用いて各補間点における姿勢制御条件を満たす値の組 (β , γ) に関し、 $|y - y_0|$ の値が相対的に大きくない方の組が選択されるように値の組 (β , γ) を順次定めるアルゴリズムを利用して行なわれる前記同軸手首ロボットの姿勢制御動作における急動作回避方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本願発明は、工場における省力化、自動化等に利用される産業用ロボット（以下、単にロボットと言う。）の制御技術に関し、更に詳しく言えば、同軸手首を有するロボットの姿勢制御時に急動作を回避する方法に関する。

10

【0002】

【従来技術】

ロボットの手首側の3軸が図1に示したような軸構成を有している場合、これを同軸手首と言ひ、また、同軸手首を備えたロボットを同軸手首ロボットと呼んでいる。図1に記したように、これらの手首3軸は最も手先側の軸から順に α 軸、 β 軸、 γ 軸と呼ばれ、各軸の回転移動方向及び向き（移動位置を表わす軸変数の正負）は同図に示した通りである。なお、以下 α , β , γ は各軸の角度位置（「軸値」とも言う。）を表わす記号としても使用される。

【0003】

20

このような同軸手首ロボットの姿勢制御動作時には手首形態を決定する必要が生じる。これは、ロボットの姿勢を完全に制御しても、逆変換の方程式を解く過程で、軸値の組 (α , β , γ) が必ずしも一意的に定まらないことによる。手首形態を完全に定める為には手首3軸の内、 β 軸の値の符号を指定してやれば良い事が知られており、図1に併記したように、 β に正值をとらせた状態を「フリップ」と呼び、 β に負値をとらせた状態を「ノンフリップ」と呼んでいる。

【0004】

従来、このような同軸手首ロボットに特異姿勢（ $\beta = 0$ の姿勢）近傍で姿勢制御動作を行なわせると、 α 及び γ の値が隣合う補間点で急変する現象が生じていた。この現象を図2～図5を用いて説明する。

30

【0005】

先ず図2は、 $\alpha = \beta = \gamma = 0$ の姿勢を示したものである。図中 Σ_{wr} は手首の根元に固定された軸 x, y, z を持つ座標系である。また、 $\langle v \rangle$ は手首先端に固定されたベクトルを表わしている。 $\alpha = \beta = \gamma = 0$ の姿勢において、ベクトル $\langle v \rangle$ の方向は座標系 Σ_{wr} の $+z$ 軸方向と一致するものとする。

【0006】

これら座標系 Σ_{wr} 及びベクトル $\langle v \rangle$ は、任意の手首形態における α , β , γ の値を記述する（測る）基準となるものである。 α , β , γ の値は、図3に示した態様で測られる。図3（1）,（2）は α 及び γ の測り方を、 $\beta > 0$ の場合と $\beta < 0$ の場合に分けて表わしている。

40

【0007】

図中、直線 g_1 は β 軸の原点と α 軸の原点を通る直線に垂直な直線の内、 x 軸を通るものを表わしている。また、直線 g_2 は α 軸の原点を通り z 軸に平行な直線である。そして、直線 g_3 は α 軸の原点から x 軸に降ろした垂線である。

【0008】

これらの事項を前提に、図4に示された姿勢制御動作について考察してみる。図4は、従来方式で制御を行なった場合に急動作を起こす姿勢制御動作の一例を表わしている。このケースでは、手首先端が曲線 PQ 上を矢印方向に動き、その間ベクトル $\langle v \rangle$ の方向は座標系 Σ_{wr} の $z-x$ 平面に平行に保たれる。このような動作においては、曲線 PQ 上を通る間に、図2に示した特異姿勢あるいはその近傍を通過することになる。

50

【 0 0 0 9 】

従来方式では、このような場合でも、「フリップ」の状態あるいは「ノンフリップ」の状態を維持するような処理が行なわれている。その結果、 α 及び y について、特異姿勢あるいはその近傍を通過する際に値の急激な変化が避けられなかった。図 5 はこれを説明する図で、(1) は y の急変を、(2) は α の急変を表わしている。このような急動作は、 β 値の符号を維持しようとすることに起因して引き起こされるものと考えることが出来る。

【 0 0 1 0 】

そこで、本発明者は既に特異姿勢通過時に、フリップ / ノンフリップの反転を行なう手首形態の決定方法を提案した (特願平 7 - 2 3 3 3 5 号に添付された明細書及び図面を参照)。図 4 に示したケースにおいて、曲線 P Q が特異姿勢を正確に通過、あるいは特異姿勢を通過したとみなせるほどの極く近傍を通過する場合 (以下、単に「特異姿勢を通過」と言う。) には、上記提案された方法を適用することによって、急動作は回避される。

【 0 0 1 1 】

【 発明が解決しようとする課題 】

しかし、図 4 に示したケースにおいて、曲線 P Q が特異姿勢の近傍は通過するが特異姿勢は通過しないような場合には、上記提案の方法を適用してもフリップ / ノンフリップの反転は起らない。そして、急動作は特異姿勢のある程度の拡がりを持った範囲内で特異姿勢からの隔たりに応じた強さで発生する性質があるから、特異姿勢近傍通過時の急動作の危険は回避出来なかった。

【 0 0 1 2 】

そこで、本願発明の目的は、同軸手首ロボットの姿勢制御動作時について、特異姿勢の近傍を通過する際に確実に急動作を回避する方法を提供し、急動作発生時の弊害 (人身の危険、軌跡精度の顕著な劣化) を未然に防止することにある。

【 0 0 1 3 】

【 課題を解決するための手段 】

本願発明は、ソフトウェア処理能力を有するロボット制御装置によって制御されるとともに手先側から順に α 軸、 β 軸、 y 軸の 3 軸で構成される同軸手首を備えたロボットの姿勢制御動作について、上記提案済みの方法が有効に適用される範囲を実質的に拡張することを通して上記課題を解決したものである。

本願発明の方法に従えば、姿勢制御動作時に各補間点について実行されるソフトウェア処理が、特異姿勢への接近を判断する処理と、該処理によって特異姿勢に接近したと判断された際には、前記特異姿勢を通過するように動作指令を修正する処理と、手首形態を決定する処理とを含んでいる。

【 0 0 1 4 】

手首形態を決定する処理においては、前回の補間処理における手首軸の値、例えば、 β 軸の軸値及び y 軸の軸値が考慮され、前記前回の補間処理で定められた補間点における手首軸の値 (例えば y 値) から測った前記当該補間点における手首軸の値 (例えば y 値) 軸の軸値の変化量が 90° を越えないように、あるいは、同変化量が相対的に大きくない方の手首軸位置が選択されるように、前記同軸手首の形態が選択される。

【 0 0 1 5 】

該選択に際しては、次式、

$p = (a_z \times \cos y_0) + (a_y \times \sin y_0)$ 、[但し、 y_0 は手首形態を決定しようとしている補間点の 1 つ手前の補間点の y 値、 a_z 、 a_y は手首根元座標系から見たツール姿勢を表わす行列の一部をなすアプローチベクトルの z 成分並びに y 成分]、で定義される指標を用いて各補間点における姿勢制御条件を満たす値の組 (β , y) に関し、 $| y - y_0 |$ の値が相対的に大きくない方の組が選択されるように値の組 (β , y) を順次定めるアルゴリズムを利用することが出来る。

【 0 0 1 6 】

また、前記特異姿勢への接近を判断する処理は、予め設定される β 値の絶対値 $|\beta|$ の臨界値 K を基準として実行することが出来る。

【 0 0 1 7 】

【作用】

本願発明によって、 α 軸、 β 軸、 γ 軸の 3 軸で構成される同軸手首を備えたロボットの姿勢制御動作について、特異姿勢近傍における急動作が回避される原理の概要は以下の通りである。

同軸ロボットの姿勢制御動作時には、各補間点で同軸手首の形態 (α , β , γ の値) を定める為に、一般に次の (1) 式で与えられるような形の方程式を解くことが求められる。

【 0 0 1 8 】

【数 1】

$$\begin{bmatrix} \cos\beta = a_x \\ \sin\gamma \sin\beta = a_y \\ \cos\gamma \cos\beta = a_z \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

10

但し、 $a_x^2 + a_y^2 + a_z^2 = 1$, $a_x \neq -1$

ここで、(a_x , a_y , a_z) は、手首根元座標系から見たツール先端点の姿勢を表わす行列に含まれるアプローチベクトル $\langle a \rangle$ の各成分である。アプローチベクトルは、ツール先端点の z 軸周りのスピン成分以外の姿勢を表現するベクトルで、その値は、動作プログラムに付随した位置データ、基本 3 軸の軸値 (逆変換演算で決定される)、軸長データ等から補間点毎に計算される。

20

【 0 0 1 9 】

(a_x , a_y , a_z) を既知とすれば、上記方程式 (1) の解は次の (2) 式または (3) 式で与えられる。

【 0 0 2 0 】

【数 2】

($a_x \neq 1$ の時)

$$\begin{bmatrix} \cos\beta = a_x \\ \sin\beta = \pm \sqrt{a_y^2 + a_z^2} \\ \cos\gamma = \pm a_z / \sqrt{a_y^2 + a_z^2} \\ \sin\gamma = \pm a_y / \sqrt{a_y^2 + a_z^2} \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

30

但し、 $\pm$ の符号は複合同順とする。

($a_x = 1$ の時)

$$\begin{bmatrix} \beta = 0 \\ \gamma = \text{不定} \end{bmatrix} \quad \dots (3)$$

40

姿勢制御動作を行なう上で問題となるのは、上記 (2) 式の場合は $\pm$ いずれの符号を選択するかであり、上記 (3) 式の場合は γ の値をどう定めるかである。(2) 式における $\pm$

50

の記号の選択が手首形態の決定に対応している。本願発明で利用される手首形態決定の為の処理では、 y 値に急激な変化を回避すべく前回補間点の y 値を考慮してこの選択が行われる（一般に、1 補間点当りの y 値の変化量は最大でも 90° までに抑えられる）。

【0021】

また、上記（3）式における不定値を確定する際にも、前回の補間点の y 値を採用することが出来る。前回の補間点の y 値を考慮する為の指標としては、次式（4）で定義される p が用いられる。

【0022】

$$p = (a_z \times \cos y_0) + (a_y \times \sin y_0) \quad \dots (4)$$

但し、 β_0 、 y_0 は手首形態を決定しようとしている補間点の1つ手前の補間点（前回の補間点とも言う。）の β 値及び y 値であり、 a_z 、 a_y は手首根元に設定された座標系 Σ_{wr} から見たツール姿勢を表わす行列の一部をなすアプローチベクトルの z 成分並びに y 成分である。

【0023】

上記指標 p を用いたアルゴリズム（詳細内容は後述）により、姿勢制御動作中に同軸手首ロボットが特異姿勢自身（ $\beta = 0$ とみなされる範囲）を通過した場合には、フリップ/ノンフリップを反転させる処理が行なわれ、 y 軸と α 軸の急激な回転が回避される。また、上記（3）式における不定値を確定する際にも、前回の補間点の y 値を採用することが出来る。

【0024】

しかし、急動作が発生するのは、同軸手首ロボットが特異姿勢自身（ $\beta = 0$ とみなされる範囲）を通過した場合に限られるわけではなく、ある程度の近傍（例えば $\beta = 5^\circ$ 以内）を通過する際にも α 軸、 y 軸の急回転は起こり得る。そこで、本願発明では、同軸手首ロボットが特異姿勢の近傍にさしかかった段階で、動作指令を少なくとも前記特異姿勢の極く近傍を通過するように修正する処理を実行する。

【0025】

これにより、上記手首形態決定の為の処理の中でフリップ/ノンフリップの反転が実現される。その結果、 α 軸、 y 軸の急回転を起こすような手首形態が決定されることがなくなり、同軸手首ロボットの急動作が確実に回避される。

【0026】

【実施例】

ここでは、図4に例示した姿勢制御動作に本願発明の方法を適用するケースについて説明する。

図6は、図4に例示した姿勢制御動作に本願発明の方法を適用した場合の動作指令の修正内容を説明する図である。

【0027】

図4に関連して述べたように、従来方式で制御を行なった場合には、手首先端が曲線 PQ 上（但し、破線部分 $P'Q'$ を通過。実線 $P'Q'$ の意味は後述。）を矢印方向に動き、その間ベクトル $\langle v \rangle$ の方向は座標系 Σ_{wr} の $z-x$ 平面に平行に保たれる。

【0028】

但し、ここでは、曲線 PQ の破線部分は図2に示した特異姿勢からある程度離れた近傍（即ち、特異姿勢とはみなされない近傍、例えば $\beta = 3^\circ$ ）を通過するものとする。このような場合に前述の提案済みの手首形態決定方法に従った処理を実行しても、フリップ/ノンフリップの反転は実現されず、特異姿勢への接近時に急動作を起こすおそれがある。

【0029】

そこで、同軸手首ロボットが急動作を起こす危険領域へ進入する手前で、特異姿勢とみなされる範囲 B （即ち、前述の提案方法で、フリップ/ノンフリップの反転を実現出来る範囲）を確実に通過するように動作軌跡が変更されるように動作指令を修正する。 P' は修正開始点を表わしている。ここでは、特異姿勢を表わす点 A へ向かう動作軌跡を実現させる為の移動指令を補間処理毎に作成する。

10

20

30

40

50

【0030】

同軸手首ロボットがP'から点Aに到達(厳密には最接近)する前後でフリップ/ノンフリップの反転が実現され、 α 軸、 y 軸の急回転は回避される。動作軌跡はなるべく早く滑らかに元来のものに復帰させることが好ましいので、点Aからは、徐々に破線P'Q'に接近させ、点Q'からは元来の動作軌跡に復帰させる。

【0031】

点P'は特異姿勢への接近を判断する基準点であり、これに対応するものとして、 $|\beta|$ の臨界値Kを予め設定しておく。Kの値は設計的に定められるが、実際的な値としては、例えば $K = 5^\circ$ が考えられる。元来の動作軌跡の中から最初に $|\beta| = K$ を満たすを与える点を捜し出すことで、動作指令修正開始時期を決定することが出来る。

10

【0032】

点Q'については、 $|\beta| = K$ を与える点を元来の動作軌跡の中から捜し出せば良い。元来の動作軌跡(P→P'→破線部分通過→Q'→Q)は教示データから随時計算可能である。例えば、動作指令修正開始後も破線部分の軌跡に対応した補間点のアプローチベクトルデータを先行的に継続し、同軸手首ロボットが点Aに到達する前に、 $|\beta| = K$ となる点をQ'として定めておく。点Q'のデータ(アプローチベクトルのデータ)は、動作軌跡AQ'の計算に利用される。

【0033】

以上が、本実施例における動作指令の修正内容の概要であるが、以下、その為の処理を含む処理全体について説明する。

20

図7は本実施例で使用するロボット制御装置の概略構成を要部ブロック図で示したものである。同図において符号10で表示されたロボット制御装置は、マイクロプロセッサを含む中央演算処理装置(以下、CPUという。)11を備えている。CPU11にはROMからなるメモリ12、RAMからなるメモリ13、不揮発性メモリ14、液晶ディスプレイ(LCD)を備えた教示操作盤15、サーボ回路17を経て各軸のモータを内蔵するロボット機構部に接続されたロボット軸制御部16が各々バス19を介して接続されている。

【0034】

ROM12には、CPU11がロボット本体1及びロボット制御装置10自身の制御を行なう為の各種のプログラムが格納される。RAM13はデータの一時記憶や演算の為に利用されるメモリである。不揮発性メモリ14には、各種設定値や動作プログラムが格納される。設定値には点P', Q'を定める為の値Kが含まれる。なお、ここで説明した構成は、通常のロボット制御装置と特に変わるところはない。

30

【0035】

以下、図8及び図9のフローチャートを参照し、図6のPQ間で姿勢制御動作中に、ロボット制御装置内で実行される処理の概要を説明する。

図8のフローチャートは処理全体の流れを表わしている。先ず、元来の動作軌跡上の補間処理で求められた β の絶対値 $|\beta|$ と、設定値Kの大小関係を判定する(ステップT1)。

【0036】

同軸手首ロボットが点P'に達する迄は、ステップT1の判断はNOであるから、ステップT2へ進み、元来の動作軌跡PP'に従った動作指令を作成し、ステップT6で手首形態を決定する処理(内容は後述)を実行する。この処理サイクル(T1→T2→T6)は、同軸手首ロボットが点P'に達する迄、補間周期毎に繰り返される。

40

【0037】

同軸手首ロボットが点P'に達すると、ステップT1の判断はイエスに切り替わるので、ステップT3へ進み、特異姿勢点Aへの未到達を確認した上でステップT4へ進む。ステップT4では、動作軌跡P'Aに従った動作指令を作成し、ステップT6で手首形態を決定する処理を実行する。この処理サイクル(T1→T3→T4→T6)は、同軸手首ロボットが点P'に達する迄、補間周期毎に繰り返される。なお、この間も、元来の動作軌跡

50

(破線 $P'Q'$) について補間点の計算自体は、点 Q' が求められるまで並行的に続行される(フローチャートには記載省略。動作指令はあくまで実線 $P'A$ に基づいて作成する)。

【0038】

同軸手首ロボットが点 A に達すると、ステップ $T3$ の判断はイエスに切り替わるので、ステップ $T5$ へ進み、動作軌跡 AQ' に従った動作指令を作成し、ステップ $T6$ で手首形態を決定する処理を実行する。この処理サイクル($T1 \rightarrow T3 \rightarrow T5 \rightarrow T6$)は、同軸手首ロボットが点 Q' に達する迄、補間周期毎に繰り返される。

【0039】

同軸手首ロボットが点 Q' に達すると、ステップ $T1$ の判断は再度ノーに切り替わるので、ステップ $T2$ へ進み、元来の動作軌跡 $Q'Q$ に従った動作指令を作成し、ステップ $T6$ で手首形態を決定する処理を実行する。この処理サイクル($T1 \rightarrow T2 \rightarrow T6$)は、同軸手首ロボットが点 Q に達する迄、補間周期毎に繰り返される。

【0040】

次にステップ $T6$ で実行される手首形態決定処理について図9のフローチャートを参照して説明する。この処理の内容は、前述した提案方法と実質的に同じものである(特願平7-23335号に添付された明細書及び図面を参照)。

まず、補間計算の過程で求められたアプローチベクトルの x 成分 a_x が1であるかを判断する(ステップ $S1$)。もし、イエスであれば、ステップ $S8$ へ進み、前記(3)式に従って $\beta = 0$ (フリップとノンフリップの境界に相当する状態)とする。また、この姿勢が特異姿勢である為に(3)式で不定とされている γ については、前回の補間点における値 γ_0 をそのまま採用する(ステップ $S8$)。これにより、特異姿勢をとる補間点に関して γ 値の急激な変化が回避される。

【0041】

ステップ $S1$ でノーであればステップ $S2$ へ進み、前記(2)式に従って $\cos \beta = a_x$ から β 値の候補を決定する(この段階では、 β 値の符号に正負の自由度が残されている)。次いで、前記(4)式で定義された指標 p の符号を用いて前回の γ 値を考慮する為の一連の処理が実行される。

【0042】

まず、ステップ $S3$ で $p = 0$ であるかが判断される。 $p \neq 0$ と判断された場合には、更にステップ $S4$ で正負の符号が判定される。もし、 $p > 0$ と判定された場合には、ステップ $S6$ へ進み、前記(2)式における $\pm$ 符号の内 $+$ 符号を選択して、 β 値及び γ 値を決定する。 β 値については、ステップ $S2$ で求められた正負2つの候補値の内、正值のものが選択されることになる(フリップの選択)。

【0043】

ステップ $S4$ で、 $p < 0$ と判定された場合には、ステップ $S7$ へ進み、前記(2)式における $\pm$ 符号の内 $-$ 符号を選択して、 β 値及び γ 値を決定する。 β 値については、ステップ $S2$ で求められた正負2つの候補値の内、負値のものが選択されることになる(ノンフリップの選択)。

【0044】

ステップ $S3$ で $p = 0$ であると判断された場合には、ステップ $S5$ で前回の補間点における β 値自体の符号が参照される。もし、 $\beta_0 = 0$ と判断された場合にはステップ $S6$ へ進み、 $p > 0$ の場合と同様に、前記(2)式における $\pm$ 符号の内 $+$ 符号を選択して、 β 値及び γ 値を決定する。

【0045】

また、 $\beta_0 < 0$ と判断された場合にはステップ $S7$ へ進み、 $p < 0$ の場合と同様に、前記(2)式における $\pm$ 符号の内 $-$ 符号を選択して、 β 値及び γ 値を決定する。ステップ $S6$ 、ステップ $S7$ 、ステップ $S8$ のいずれかの完了後にその補間点に関する処理が終了される。このように、図5のフローチャートに示したアルゴリズムを用いることによって、すべてのケースについて β 値及び γ 値が定められる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

上記アルゴリズムにおける指標 p の符号の考慮は、(2) 式におけるベクトル $(\cos y, \sin y)$ の正負の反対符号を持つ 2 解の内、前回の補間点におけるベクトル $(\cos y_0, \sin y_0)$ から遠くない方の解を選択していることに他ならない。従って、どのようなケースにおいても $|y - y_0|$ が 90° を上回ることが原理的に起こり得ない。

【 0 0 4 7 】

図 6 に示されたケースについてフリップ / ノンフリップの選択状況を考えてみる。フリップ状態 ($\beta > 0$) で姿勢制御が開始された直後の補間点では、明らかに、ステップ S 1 → ステップ S 2 → ステップ S 3 → ステップ S 4 を経てステップ S 6 が実行される。区間 P P' では、 $\beta = 0$ となることがないから、このサイクルが毎回繰り返される。

10

【 0 0 4 8 】

区間 P' A に入っても、しばらくは $\beta = 0$ ($a_x = 1$) となることがないので、同様にステップ S 1 → ステップ S 2 → ステップ S 3 → ステップ S 4 → ステップ S 6 の処理サイクルが繰り返される。しかし、 a_x が 1 に近づくに従い (図 6 の事例では、ワーク座標系上で見たツール姿勢は変化しないが手首根元座標系 Σ_{wr} が変化することに注意)、 β が正值側から徐々に 0 に近づく。

【 0 0 4 9 】

特異姿勢点 A の付近で、 $a_x = 1$ (手首根元座標系 Σ_{wr} の + z 軸の方向とベクトル $\langle v \rangle$ の方向が一致) の判定が出された場合には、その補間点ではステップ S 1 → ステップ S 8 が実行される。

20

【 0 0 5 0 】

その直後の補間点では再びステップ S 1 からステップ S 2 を経てステップ S 3 へ進む。ステップ S 3 における判定基準値にもよるが、特異姿勢からの姿勢変化が余り小さくない限り判断結果はノーとなる。もし、イエスとされた場合には、前回の β の値 β_0 の符号を直接確認した上で、正であればフリップ状態を選択し、負であればノンフリップ状態を選択する。

【 0 0 5 1 】

$p = 0$ の判定がなされた場合でも、やがてロボット姿勢は特異姿勢から離れる方向に変化するので、次回の補間点以降でステップ S 3 でイエスの判定が出され続けることはない。

【 0 0 5 2 】

最初にステップ S 3 またはステップ S 5 でノーの判断が出されると、ステップ S 7 が初めて実行され、ノンフリップが選択される。これにより、特異姿勢通過時の y 値のジャンプが回避される。

30

【 0 0 5 3 】

もし、特異姿勢通過前後を通してフリップ状態を維持した場合を仮定すると、(2) 式の形から判るように、特異姿勢通過前後で a_y 及び a_z の符号が反転するので、最悪の場合 y を 180° 変化させなければならなくなる。

【 0 0 5 4 】

本処理では、特異姿勢通過前後で起る a_y 及び a_z の符号の反転時に β 値の正負を反転させるので、 y 値の変化は最悪の場合でも 90° を越えることはない。図 10 (1) , (2) は、本実施例で急動作が回避される状況を図示したものである。図 10 (1) には y 値の変化が小さいことが描かれ、図 10 (2) には α 値の変化が小さいことが描かれている。図中 β_P, β_Q は各々点 P, Q における β 値を表わしている。特異姿勢通過時にフリップ / ノンフリップの反転が実行されるので、 β_P, β_Q は異符号である。従って、図 5 (1) , (2) の場合のように、 y 値及び α 値の変化が大きくなることが避けられる。

40

【 0 0 5 5 】

なお、特異姿勢の前後における y 値の変化が極く僅かであれば、姿勢制御動作が滑らかなものである限り、 α 値の変化も小さくなることは、 β 値は元々特異姿勢付近で急変しないことに注意すれば、直感的にも明らかである。

【 0 0 5 6 】

50

結局、図 4 に示された姿勢制御の事例に本願発明の方法を適用した場合には、図 10 (1) , (2) に示したように、図 6 に示したような若干の動作軌跡の修正を伴う形で、同軸手首ロボットの急動作が確実に回避される。これは、もし本願発明の方法を適用しなかった場合に予測される急動作発生事態に比べれば (図 6 の破線区間 P ' Q ' の途上で発生が予測される。) 、作業の安全上、遥かに好ましいことである。

【 0 0 5 7 】

以上、図 4 に示された姿勢制御の事例に本願発明の方法を適用した場合について説明したが、ここで述べた手法、特に処理内容は他の姿勢制御の事例に関しても、基本的に適用可能なものである。

【 0 0 5 8 】

10

【発明の効果】

本願発明によれば、同軸手首ロボットの特異姿勢近傍における姿勢制御動作について、姿勢の指令値を若干変更し、特異姿勢通過時にフリップ / ノンフリップの反転を起こさせる手首形態決定処理を実行するだけで、 α 軸、 γ 軸の急激な回転を伴う急動作を回避することが出来る。従って、同軸手首ロボットに安全に姿勢制御動作を行なわせることが出来る範囲が拡張される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】同軸手首の軸構成について説明する図である。

【図 2】同軸手首ロボットの特異姿勢について説明する図である。

【図 3】同軸手首の軸の角度位置の測り方を説明する図である。(1) は α の測り方、(2) は γ の測り方を、各々 β の符号に関連させて示している。 20

【図 4】同軸手首ロボットの姿勢制御動作の一例を説明する図である。

【図 5】図 4 に示した姿勢制御動作を従来方式で実行した場合に発生する急動作について説明する図である。(1) には γ 値の急変が描かれ、(2) には α 値の急変が描かれている。

【図 6】図 4 に示した姿勢制御動作に本願発明の方法を適用した場合の動作軌跡を説明する図である。

【図 7】実施例で使用されるロボット制御装置の概略構成を要部ブロック図で示したものである。

【図 8】実施例における処理全体の流れを説明する為のフローチャートである。 30

【図 9】実施例で実行される手首形態決定処理について説明する為のフローチャートである。

【図 10】図 4 に示した姿勢制御動作に本願発明の方法を適用した場合に急動作が回避される状況を説明する図である。(1) には γ 値の急変回避が描かれ、(2) には α 値の急変回避が描かれている。

【符号の説明】

1 ロボット (同軸手首ロボットの機構部)

10 ロボット制御装置

11 中央演算処理装置 (CPU)

12 ROM

40

13 RAM

14 不揮発性メモリ

15 教示操作盤

16 ロボット軸制御部

17 サーボ回路

19 バス

P ~ Q 姿勢制御動作が行なわれる経路区間

P ' 姿勢の指令の修正を開始する点

Q ' 姿勢の指令の修正を終了する点

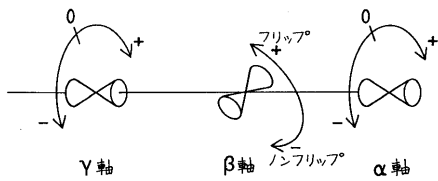
A 特異姿勢点

50

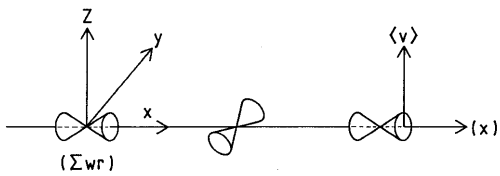
B 特異姿勢とみなされる範囲

 Σwr 手首根元に固定された座標系

【図 1】

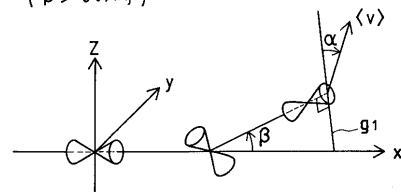
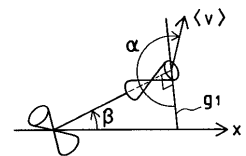


【図 2】

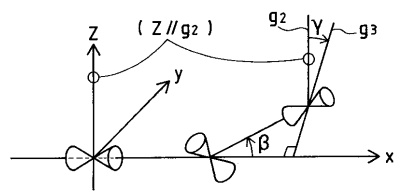
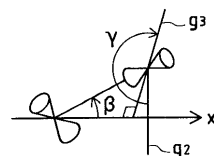


【図 3】

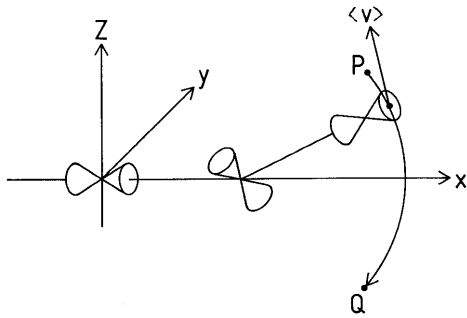
(1)

 $(\beta > 0$ の時) $(\beta < 0$ の時)

(2)

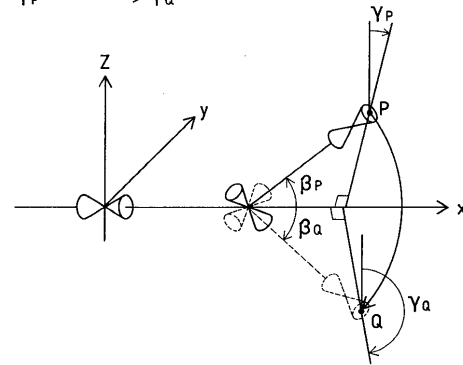
 $(\beta > 0$ の時) $(\beta < 0$ の時)

【図 4】

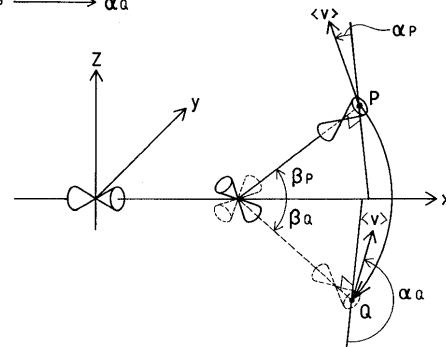


【図 5】

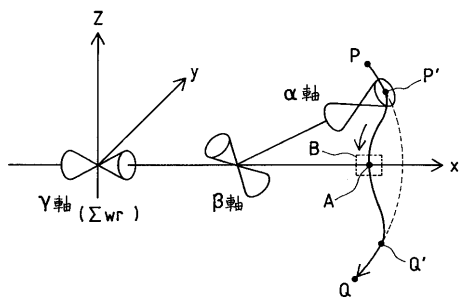
(1)

 $\beta_P > 0 \rightarrow \beta_a > 0$ $\gamma_P \rightarrow \gamma_a$ 

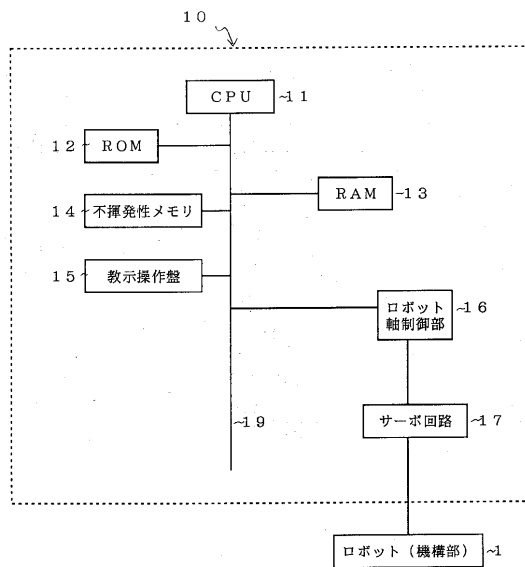
(2)

 $\beta_P > 0 \rightarrow \beta_a > 0$ $\alpha_P \rightarrow \alpha_a$ 

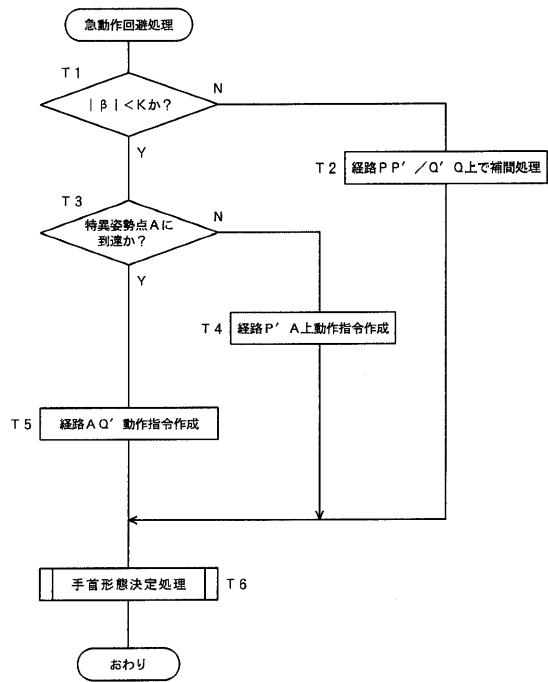
【図 6】



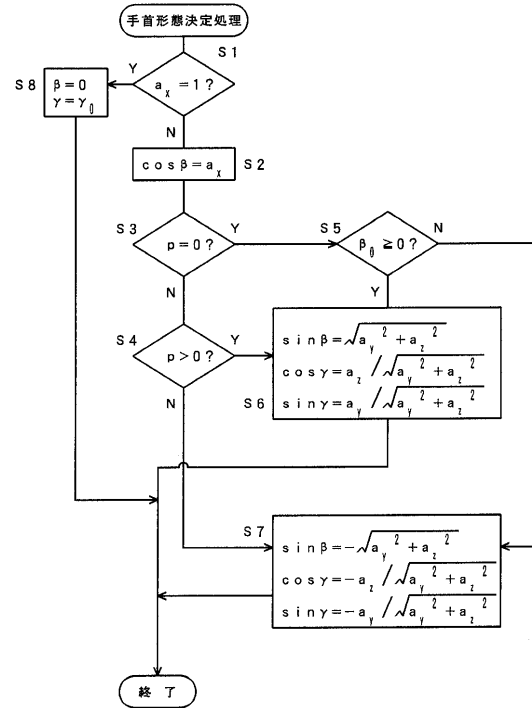
【図 7】



【図 8】

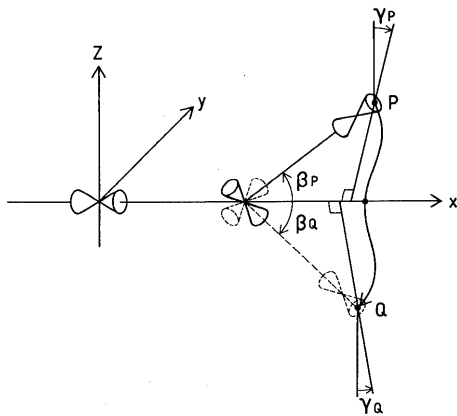


【図 9】

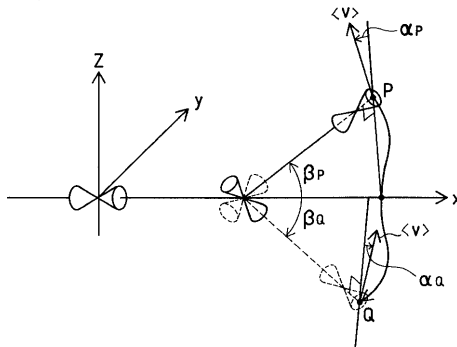


【図 10】

(1)



(2)



フロントページの続き

(72)発明者 組谷 英俊

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社 内

審査官 八木 誠

- (56)参考文献 特開昭63-20506(JP,A)
特開昭58-114888(JP,A)
特開昭60-189012(JP,A)
特開昭62-189504(JP,A)
特開昭60-57408(JP,A)
特開平4-268607(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G05B19/18-19/46

B25J1/00-21/02