

⑫ 特許公報 (B2)

平5-32197

⑮ Int. Cl.<sup>5</sup>

B 25 J 9/06  
19/00

識別記号

A  
C

庁内整理番号

9147-3F  
9147-3F

⑳ 公告 平成5年(1993)5月14日

請求項の数 2 (全5頁)

⑭ 発明の名称 マニピュレータ及びその制御方法

⑰ 特 願 昭63-80079

⑱ 公 開 平1-252389

⑲ 出 願 昭63(1988)3月31日

⑳ 平1(1989)10月9日

⑳ 発 明 者 荒 井 裕 彦 茨城県つくば市並木1丁目2番地 工業技術院機械技術研究所内

㉑ 発 明 者 館 暲 茨城県つくば市並木1丁目2番地 工業技術院機械技術研究所内

㉒ 出 願 人 工 業 技 術 院 長 東京都千代田区霞が関1丁目3番1号

㉓ 指定代理人 工業技術院機械技術研究所長

審 査 官 島 田 信 一

出願人において、実施許諾の用意がある。

㉔ 参 考 文 献 特開 昭57-168886 (JP, A)

1

2

㉕ 特許請求の範囲

1 n自由度のマニピュレータであつて、n個の関節部を有し、前記n個の関節部のうちk個の関節部にアクチュエータを備え、残りn-k個 ( $k \geq n-k$ ) の関節部にアクチュエータを備えず保持ブレーキを備えていることを特徴とするマニピュレータ。

2 n自由度のマニピュレータであつて、n個の関節部を有し、前記n個の関節部のうちのk個の関節部にアクチュエータを備え、残りn-k個 ( $k \geq n-k$ ) の関節部にアクチュエータを備えず保持ブレーキを備えるマニピュレータの操縦方法であつて、前記保持ブレーキを解放した状態では関節間の動的干渉によりアクチュエータを有する関節のトルクまたは力によつてアクチュエータを備えない関節に角加速度または加速度を発生させて前記アクチュエータを有しない関節の角度または変位を制御し、前記保持ブレーキを作動した状態ではアクチュエータを有する関節の角度または変位を前記アクチュエータにより制御すること

発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

この発明はn自由度のマニピュレータアームの位置制御をするための技術に関するものである。人間の手作業代行のため、多自由度のリンクからなるアームを有するロボットが開発され、人間の行う巧みの動作を実現するため、位置制御が行なわれている。

[従来の技術]

マニピュレータの最も基本的なハードウェア上の構成は、リンク機構の各関節に対しその関節を駆動する1個のアクチュエータとその関節の回転を検出するセンサが対応するものである。従つてマニピュレータは通常各関節で実質的に独立の位置決め能力を持ち、マニピュレータの自由度とアクチュエータの個数は一致する。自由度の数に比べて、アクチュエータの数を減すことを目的としてアクチュエータ数より多い自由度を制御する種々の手法が提案されているが、差動機構と対象物の拘束による方法や、関節間に動力伝達機構を設ける方法等、機構に依存するものが中心である。

[発明が解決しようとする課題]

しかし、機構に依存する上記従来の方法はマニピュレータの構造を複雑にし、これにともなつ

て、価格が高価になりかつマニピュレータの重量を大きくするので、大きな駆動エネルギーを必要とする。

このようなことからマニピュレータ関節のアクチュエータ類を減少させ、大幅なコストダウンを可能にし、また関節を軽量化することが可能であり、アクチュエータの小型化、省エネルギー化を可能とするマニピュレータ及びその制御方法を提供することを目的とするものである。

#### 〔発明が解決しようとする課題〕

以下では関節を回転関節として述べるが、直動関節についても全く同様に適用できる。

この目的に対応して、この発明のマニピュレータは、 $n$ 自由度のマニピュレータであつて、 $n$ 個の関節部を有し、 $n$ 個の関節部のうちの $k$ 個の関節部にアクチュエータを備え、残り $n-k$ 個 ( $k \geq n-k$ ) の関節部にアクチュエータを備えず保持ブレーキを備えていることを特徴としている。

また、この発明のマニピュレータの制御方法は、 $n$ 自由度のマニピュレータであつて、 $n$ 個の関節部を有し、 $n$ 個の関節部のうちの $k$ 個の関節部にアクチュエータを備え、残り $n-k$ 個 ( $k \geq n-k$ ) の関節部にアクチュエータを備えず保持ブレーキを備えるマニピュレータの操縦方法であつて、保持ブレーキを解放した状態では関節間の動的干渉によりアクチュエータを有する関節のトルクまたは力によつてアクチュエータを備えない関節に角加速度または加速度を発生させてアクチュエータを有しない関節の角度または変位を制御し、保持ブレーキを作動した状態ではアクチュエータを有する関節を角度または変位をアクチュエータにより制御することを特徴としている。

#### 〔作用〕

この発明のマニピュレータ及びマニピュレータの制御方法では、 $k$ 個のアクチュエータのトルクによつて保持ブレーキを開放した状態で保持ブレーキのみの ( $n-k$ ) 個の関節を含む $k$ 個の関節の角度を制御し、保持ブレーキを作動させた状態で残りの ( $n-k$ ) 個の関節の角度を制御し、これによつてマニピュレータの手先を任意の点から任意の点に移動させることができる。

#### 〔実施例〕

以下、この発明の詳細を一実施例を示す図面について説明する。

マニピュレータの力学系が通常持つている非線形性・干渉性は各関節上に構成されたサーボ機構に対して外乱として働く。この外乱トルクを補償することがマニピュレータの制御における主要な問題の一つとなつている。ところが外乱トルクが発生するという事は、他の関節の運動によつて、それ自身はトルク発生能力を持たない関節の運動を引き起こすことができるということでもある。

この発明はアクチュエータを持たない受動関節を有するマニピュレータを、このような動力学的干渉性を利用して制御する技術に関するものである。

まず、原理を説明する。

第1図において、1はマニピュレータである。マニピュレータ1は複数のリンク1 ( $l_1, l_2 \dots l_n$ ) を関節C ( $C_1, C_2 \dots C_n$ ) で連結した $n$ 自由度をなしている。先端のリンク $l_n$ はハンド2となつている。複数の関節C ( $C_1 \sim C_n$ ) のうち、任意の $k$ 個の関節C ( $C_1 \dots C_{n-2}, C_n$ ) にはアクチュエータA ( $A_1 \dots A_{j-1} \dots A_k$ ) が備えられており、残余の ( $n-k$ ) 個の関節C ( $C_2 \dots C_{i+1} \dots C_{n-1}$ ) には保持ブレーキB ( $B_1 \dots B_{n-k}$ ) が備えられている。

アクチュエータAはそれぞれ隣り合うリンクを駆動して相対位置、相対角速度、相対角加速度を制御可能である。

保持ブレーキBはそれぞれ隣り合うリンクの動きを制御、開放可能である。

ここでの制御対象を $n$ 自由度のマニピュレータとする。そのうち $k$  ( $\geq n/2$ ) 自由度の関節Cは通常のマニピュレータ同様、アクチュエータAとセンサ (図示せず) で構成される能動関節とし、残り $n-k$ 自由度はアクチュエータを持たず、保持ブレーキBとセンサのみからなる受動関節とする。

保持ブレーキONの状態では受動関節は動かないため、通常のマニピュレータと同じ方法により能動関節が制御できる。また保持ブレーキOFFの状態では受動関節は自由に回転するため、能動関節を動かすことにより発生する干渉トルクで間接的に受動関節が制御できる。これら2つの制御モードの組合せによりマニピュレータを任意の位置から任意の位置に移すPTP制御を考える。

マニピュレータの運動方程式は次のように表わ

すことができる。

$M(q)\ddot{q} + h(q, \dot{q}) + \Gamma\dot{q} + g(q) = \tau$  .....(1)  
但し  $q$  は関節角、 $\tau$  は関節トルク、 $M(q)$  は慣性列、 $h(q, \dot{q})$  はコリオリ・遠心力、 $\Gamma$  は粘性摩擦行列、 $g(q)$  は重力を表わす。

保持ブレーキOFFの場合、受動関節のトルクはゼロであるから、

$$\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, 0, \dots, 0)^t = ((\tau')^t, 0)^t \dots\dots(2)$$

(注：ベクトル  $\tau$ 、 $q$  等の要素は必ずしも関節の幾何学順序通りに並んでいない。)

(1)の  $q$ 、 $\dot{q}$  に各関節でセンサで計測された現在値を代入すると、 $h(q, \dot{q}) + \Gamma\dot{q} + g(q)$  は値を求めることができ定数項となる。また  $M(q)$  も定数行列となつて(1)は  $\tau$  と  $\ddot{q}$  に関する連立1次方程式とみなすことができる。ここで  $\ddot{q}$  の要素のうち受動関節をすべて含む  $k$  個を選んで目標値  $\ddot{\psi} = (\ddot{\psi}_1, \dots, \ddot{\psi}_k)^t$  を与える。また残り  $n - k$  個を  $\ddot{\phi} = (\ddot{\phi}_1, \dots, \ddot{\phi}_{n-k})^t$  とおき、慣性行列  $M(q)$  のそれぞれに対応する部分を

$$M_1(q), M_2(q) \text{ とすると(1)は、} \\ M_1(q)\ddot{\psi} + h(q, \dot{q}) + \Gamma\dot{q} + g \\ = \tau + M_2(q)\ddot{\phi} \\ = Ax \dots\dots(3)$$

但し

$$A = \begin{bmatrix} \overset{k}{\underbrace{\quad\quad\quad}} & \overset{n-k}{\underbrace{\quad\quad\quad}} \\ \overset{k}{\underbrace{\quad\quad\quad}} & \overset{n-k}{\underbrace{\quad\quad\quad}} \\ \text{I} & -M_2(q) \\ \text{O} & \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} \tau' \\ \phi \end{bmatrix}$$

行列  $A$  が正則ならば(3)は解くことができ、

$$x = A^{-1}\{M_1(q)\ddot{\psi} + h(q, \dot{q}) + \Gamma\dot{q} + g(q)\} \dots\dots(4)$$

すなわちアクチュエータトルク  $\tau'$  で及び目標値を与えられなかつた関節の角加速度  $\ddot{\phi}$  が求められる。

結局、 $k$  個の能動関節のトルクによつて  $n - k$  個の受動関節を含む  $k$  個の関節の角加速度を制御することができる。

<制御アルゴリズム>

PTP制御を考える場合、第2図、第3図及び第4図に示すように、軌道を次の3つの区間にわける。

- I 起動区間 ( $0 < t < T_1$ 、保持ブレーキON)
- II 開放区間 ( $T_1 < t < T_2$ 、保持ブレーキOFF)
- III 減速区間 ( $T_2 < t < T_3$ 、保持ブレーキON)

このうちIIの区間において受動関節を含む  $k$  個の関節を目標軌道に沿つて動かし、I、IIIの区間において残りの関節を初期位置から目標位置まで動かす。

IIの区間における軌道とアクチュエータ出力は次のように決定される。

- ① 受動関節をすべて含む  $k$  個の関節に対しIIにおける角度  $\psi$ 、角速度  $\dot{\psi}$ 、角加速度  $\ddot{\psi}$  の軌道を与える。(但し境界条件として  $t = T_1, T_2$  において  $\dot{\psi} = 0$ )
  - ② 残り  $n - k$  個の関節について、角度  $\phi$ 、角速度  $\dot{\phi}$  の  $t = T_1$  における値を与える。
  - ③  $t = T_1$  において(4)の計算を行い、アクチュエータトルク  $\tau'$  及び角加速度  $\ddot{\phi}$  を求める。
  - ④ 数値積分により次のサンプリング時刻における角速度  $\dot{\phi}$ 、角度  $\phi$  を求める。
  - ⑤ {(4)の計算→数値積分} を反復し、IIの全区間にわたつてアクチュエータトルク  $\tau'$  及び角加速度  $\ddot{\psi}$ 、角速度  $\dot{\psi}$ 、角度  $\psi$  を決定する。
- 制御を実行する際には次のようなフィードバック則を用いる。①で与える角度、角速度、角加速度の目標値をそれぞれ  $\psi_d, \dot{\psi}_d, \ddot{\psi}_d$  とする。またセンサで計測された角度、角速度を  $\psi, \dot{\psi}$  とする。
- $$\ddot{\psi} = \ddot{\psi}_d + \zeta\omega_n(\dot{\psi}_d - \dot{\psi}) + \omega_n^2(\psi_d - \psi) \dots\dots(5)$$
- とおき、この角加速度  $\ddot{\psi}$  をアルゴリズムの③～⑤で用いる。

I、IIの区間における  $\phi$  の制御は通常のマニピュレータと同一である。Iの区間においては初期位置から②で与える角度、角速度を目標値とする制御を行う。またIIIの区間においては目標位置において  $\dot{\phi} = 0$  を目標値とする制御を行う。

以上のアルゴリズムによりマニピュレータの関節角  $q$  を任意の初期位置から任意の目標位置まで動かすことができる。

[発明の効果]

この発明では関節で連続したリンクを有するマニピュレータにおいて、関節間の動学的干渉を利用してアクチュエータを有する関節のトルクに

よつてアクチュエータを有しない関節に角加速度を発生させて角度を制御するので、アクチュエータを有しない関節を伝達機構を要せず駆動することができ、マニピュレータ関節のアクチュエータ数を減すことができる。したがつてマニピュレータの構造が簡単になり小型化、省エネルギー化を図ることができる。

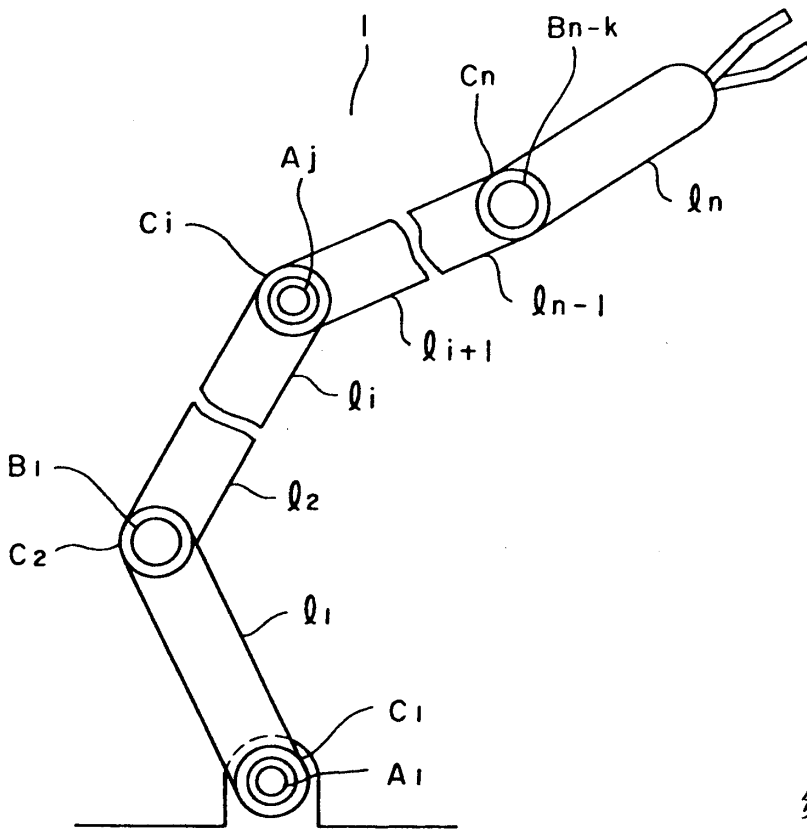
**図面の簡単な説明**

第1図はこの発明のマニピュレータを示す正面

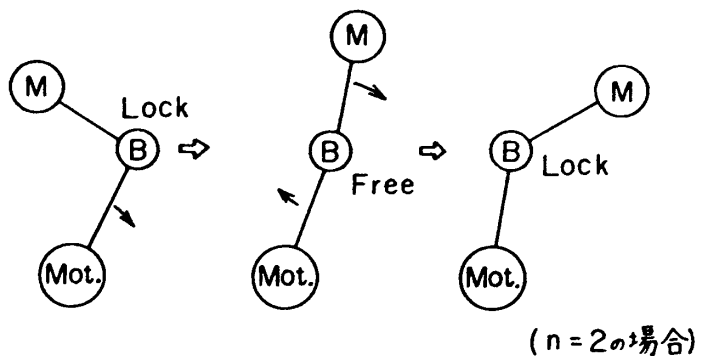
説明図、第2図はマニピュレータの運動を示す説明図、第3図は質量Mの角度線図、及び第4図は質量Mの角速度線図である。

- 1.....マニピュレータ、A(A<sub>1</sub>~A<sub>k</sub>).....アクチュエータ、B(B<sub>1</sub>~B<sub>n-k</sub>).....保持ブレーキ、C(C<sub>1</sub>~C<sub>n</sub>).....関節。

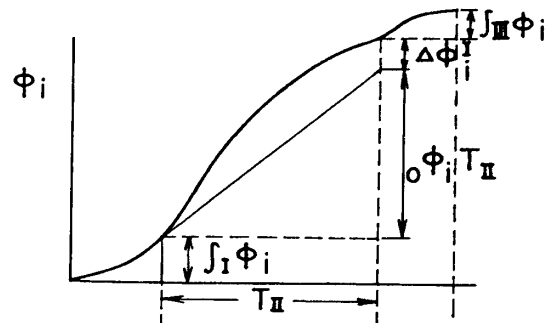
第1図



第2図



第 3 图



第 4 图

