

6自由度マニピュレータの混合同定法による モデルパラメータの推定

立命館大学 阪本 武志 諸富 徳行 峯松 睦雄 平井 慎一

Compound Identification of Model Parameters for 6 D.O.F Manipulators

*Takeshi Sakamoto, Noriyuki Morotomi, Mutsuo Minematsu, Shinichi Hirai
Ritsumeikan University

Abstract - We will show an experimental result of the identification of a dynamic model of a 6 D.O.F manipulator. First, friction and viscosity of each joint are estimated through static tests and constant angular velocity motion tests. Next, inertial parameters are estimated through simultaneous motion of 6 joints. The result of parameter identification is then shown.

Keyword: dynamic model, manipulator, identification, inertia, friction, viscosity

1. はじめに

ロボットを高精度、高速度で駆動させるためには、正確な動特性モデルが必要となる。動特性モデルの推定方法として、逐次同定法と同時同定法がある。逐次同定法は簡単な試験運動からパラメータを順次推定していく同定法である。軸数が多くなると、誤差を蓄積してしまう欠点を持つ。一方、同時同定法は、全軸同時に加速度運動を行い、すべてのパラメータを推定する同定法である。関節の摩擦に関するパラメータの推定の精度が悪いという欠点を持つ。小型多軸マニピュレータは、動特性モデルが複雑であるため、逐次同定法だけで同定することは困難である。また、関節において、静止摩擦、粘性摩擦が大きいため同時同定法だけで同定すると誤差を生じる可能性が高い。そこで、この2つの同定法の利点を生かし、摩擦項、粘性項の推定には逐次同定法を用い、その他の慣性パラメータの推定には同時同定法を用いる混合同定法¹⁾を小型マニピュレータに適用し、動特性モデル同定を行う。

2. マニピュレータの動特性モデル

リンク系の動特性モデルと駆動系の動特性モデルを統合すると、マニピュレータの動特性モデルが次式のように得られる²⁾。

$$\tau_m = K^T (M(\theta)\ddot{\theta} + h(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta} + g(\theta)) + J_a K^{-1}\ddot{\theta} + B K^{-1}\dot{\theta} + f_c \operatorname{sgn}(K^{-1}\dot{\theta}) \quad (1)$$

ここで、 K はギヤ比行列、 $M(\theta)$ は慣性係数、 $h(\theta, \dot{\theta})$ は遠心力ならびにコリオリ力の係数、 $g(\theta)$ は重力項、 J_a 、 B 、 f_c はそれぞれモータ軸の慣性モーメント、粘性摩擦係数、クーロン摩擦係数である。

3. 混合同定法

逐次同定法では、簡単な各軸試験運動によりパラメータを推定できる。そこで逐次同定法を用いて駆動系パラメータを推定する。同時同定法では、全軸同時に角加速度運動試験を行うことにより、すべてのモデルパラメータを推定できる。そこで、逐次同定法で求めた粘性摩擦係数とクーロン動摩擦力の補償をあらかじめを行い、その後に残りのモデルパラメータを同時同定法で推定する。以上の推定法を、混合同定法とよぶ。

4. 駆動系パラメータの推定

混合同定法では、駆動系パラメータを各軸ごとに逐次的に同定する。そのためには、静止試験と等角速度運動試験が必要である。

静止試験は、マニピュレータの1つの軸を適当な姿勢で静止させ、その時の角度と釣り合いトルクを測定し、重力項とクーロン静止摩擦力を求める試験法である。

$$\tau_m = K^T G(\theta) + f_s \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_m) \quad (2)$$

ここでアームが静止状態であるときに、ある軸 J_i に正のトルクを徐々に加えていきアームが動き始めるときの値を τ_{mi}^+ 、反対に負のトルクを加えたときの値を τ_{mi}^- とする。

クーロン静止摩擦 f_{si} は、次式で同定する。

$$f_{si} = \frac{\tau_{mi}^+ - \tau_{mi}^-}{2} \quad (3)$$

また、(2)式を成立させるトルク τ_{mi} は(4)式のようになる。

$$\tau_{mi} = \frac{\tau_{mi}^+ + \tau_{mi}^-}{2} \quad (4)$$

したがって、この値を用いて重力項 $K^T G(\theta)$ を得ることができる。

等角速度運動試験は、マニピュレータが等角速度運動をしているときに影響するパラメータ、粘性摩擦係数とクーロン摩擦力を同定する試験法である。

$$\tau_m - K^T G(\theta) = B\dot{\theta}_m + f_c \operatorname{sgn}(\dot{\theta}_m) \quad (5)$$

重力項 $K^T G(\theta)$ は静止試験より求められているので、(5)式より粘性摩擦係数を得ることができる。

5. 慣性パラメータの推定

混合同定法では、慣性パラメータの推定に、等角加速度運動試験を用いる。慣性パラメータとは、慣性係数 $M(\theta)$ 、遠心力ならびにコリオリ力の係数 $h(\theta, \dot{\theta})$ 、重力項 $g(\theta)$ の各パラメータである。等角加速度運動試験は、マニピュレータの全関節軸を同時に等角加速度運動させ、そのときの入力データ(トルクデータ)と運動データ(関節角度データ)からモデルパラメータを推定する試験である。等角加速度運動試験におけるモデルパラメータの推定には、同時同定法のアルゴリ

ズム(逐次型最小二乗推定アルゴリズム)を用いる。ただし、駆動系パラメータ B , f_c の値には、静止試験と等角速度運動試験から得られた値を用いる。

6. 本研究で用いるマニピュレータ

本研究に用いる6自由度開ループ型マニピュレータの構造を Fig.1に示す。今回の実験では、6軸の手先に質量約450gの重りを固定する。リンク6にこのおもりを含める。

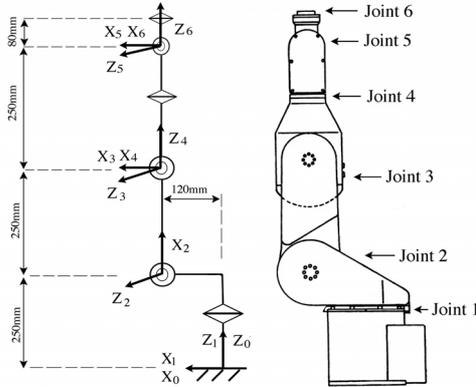


Fig.1: Js-2 manipulator

7. 動特性モデル同定実験結果

静止試験を行い、クーロン静止摩擦力を推定した。また、等角速度運動試験を行い、粘性摩擦係数とクーロン動摩擦係数を推定した。5軸の等角速度運動試験の結果を Fig.2に示す。直線の傾きが粘性摩擦係数、縦軸切片がクーロン動摩擦力である。

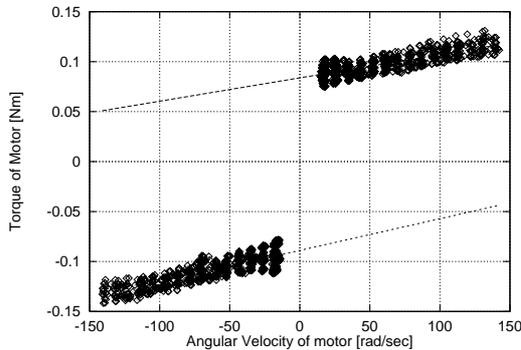
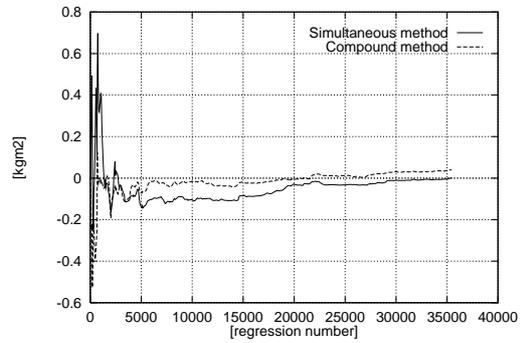
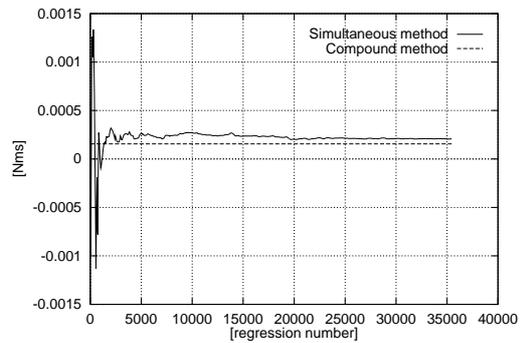


Fig.2: Friction and viscosity

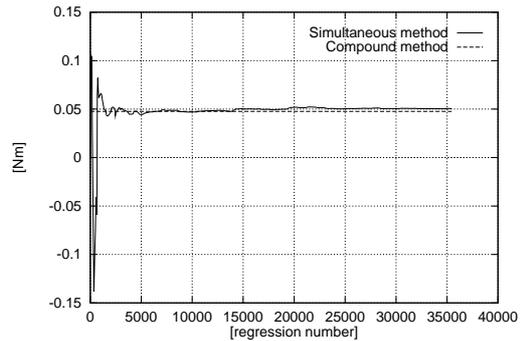
推定した粘性摩擦係数とクーロン動摩擦力を、固定値とした。次に等角加速度運動試験を行い、慣性パラメータを推定した。関節角度データは、各軸のモータに取り付けられたエンコーダによって得られるモータの回転角度データに、ギヤ比行列をかけることで得た。それにデジタルフィルタをかけることで、関節角速度と関節角加速度を求める。実験に用いたデジタルフィルタのカットオフ周波数は、角速度で50Hz、角加速度で7Hzである。また、モータの発生電流にトルク定数をかけることで、モータのトルクデータを得た。これらのデータを用いて、逐次型最小二乗法推定アルゴリズムによる約3万5千回の繰り返し計算を行い、その終端値をJs-2のモデルパラメータとした。同時同定法と混合同定法による4軸のモデルパラメータの収束の様子を Fig.3に示す。混合同定法の粘性摩擦係数とクーロン動摩擦力は、固定値であり一定である。



J_{4z}



B_4



f_{c4}

Fig.3: Model parameters of 4th joint

Fig.3からわかるように、4軸の動摩擦係数 f_{c4} については、同定法の違いによる収束値の差はほとんどない。しかし、粘性摩擦係数 B_4 において、同定法による収束値の差が生じた。この結果がそのまま慣性パラメータ J_{4z} に影響を与え、混合同定法では正の値に収束し、同時同定法では負の値に収束した。他の軸についても、動摩擦係数、粘性摩擦係数の収束値に差が生じ、そのまま慣性パラメータに影響を与える結果が得られた。

8. おわりに

本研究では、6自由度マニピュレータの混合同定法および同時同定法によるモデルパラメータの推定を行った。本研究結果より、小型多軸マニピュレータには、混合同定法が有効であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 大須賀 公一, 前田 浩一: マニピュレータの動特性同定法, 計測自動制御学会論文集, Vol.22 No.6, pp41-47, 1986
- 2) 前田 浩一: ロボットアームの動的モデルと同定, 日本ロボット学会誌, Vol.7 No.2, pp95-100, 1989