多自由度垂直多関節ロボットにおける絶対位置の一推定法

学生員 柴 田 昌 明 (慶 應 大)
 非会員 大 森 芳 行 (慶 應 大)
 正 員 村 上 俊 之 (慶 應 大)
 正 員 大 西 公 平 (慶 應 大)

An Estimation Method of Absolute Position in Multi-Degrees-of-Freedom Robot

Masaaki Shibata, Student Member, Yoshiyuki Ohmori, Non-Member, Toshiyuki Murakami, Member,
 Kouhei Ohnishi, Member (Keio University)

キーワード：多自由度ロボット，外乱オブザーバ，絶対位置推定

1. ま え が き

一般に，多自由度ロボットでは，始動時において基準となる姿勢を設定する必要があり，また，始動ごとに必ず同一の基準姿勢が設定されることが望ましい。これは，各関節の絶対位置を特定することで解決される。そこで本稿では，各関節の回転軸が相互に直角あるいは平行に構成されている一般的な多自由度ロボットについて，絶対位置を決定する手法を示す。

提案される手法においては，関節に働く重力の影響を推定し，重力方向に対するリンク・関節の位置を絶対位置の基準とする。重力の影響を推定するためには，あらかじめ同定されている各関節のモータの動特性とアーム形状の情報を用いる⁽¹⁾。

2. 関節に働く重力トルクの推定

関節を等角速度運動させると，図1に示される外乱オブザーバ⁽²⁾は，外乱成分として，重力，トルクリプル，および摩擦項を推定する。これらのうち，重力項以外の特性をあらかじめ同定しておくことで，重力項のみを算出できる。ここで，トルクリプルを微小として無視すると，推定外乱トルクは重力トルクと摩擦トルクの和として記述できる。また，多自由度垂直多関節ロボットでは，等角速度試験において重力項は正弦波として表わされる。角速度からその周期がわかるので，振幅 A ，位相差 α ，摩擦トルク分のオフセット C を用いて，推定外乱トルク $f(\theta)$ は，次式のように表わすことができる。

$$f(\theta) = \underbrace{A \sin(\theta + \alpha)}_{\text{重力トルク}} + \underbrace{C}_{\text{摩擦トルク}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

(1)式における三つの未知数を求めるために， 0.5π ， π ， 2π の区間での積分 S_1 ， S_2 ， S_3 をそれぞれ考える。積分を行うことで，結果的に，ノイズや周期的に現われるトルクリプルの影響が低減される。

図1 外乱オブザーバに基づく加速度制御系
 Fig.1. Acceleration controller based on Disturbance Observer.

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \int_0^{0.5\pi} f(\theta) d\theta = A(\sin \alpha + \cos \alpha) + 0.5\pi C \\ S_2 &= \int_0^{\pi} f(\theta) d\theta = 2A \cos \alpha + \pi C \\ S_3 &= \int_0^{2\pi} f(\theta) d\theta = 2\pi C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

(2)式より，三つの未知数 A ， α ， C が求められ，絶対位置の特定に必要な α は次式により算出される。

$$\alpha = \arctan\left(\frac{2S_2 - S_3}{4S_1 - 2S_2}\right) \dots\dots\dots (3)$$

α は，重力の影響を受けない姿勢を基準とした場合の，始動時姿勢からのずれを表わしており， α を用いることによって基準姿勢の補正を行うことができる。

3. 多自由度ロボットにおける絶対位置決定法

多自由度ロボットにおいては，ある関節に働く重力が，それより先端側のアームの姿勢に依存する。ロボットの始動時の姿勢が不明なことから，アーム先端側の関節から順次，等角速度試験を行う必要がある。

基底側から数えて i 番目の関節と $i-1$ 番目の関節の軸が，a) 平行な場合，b) 直角な場合，に分けて試験方法を別にする。

図 2 DD ロボット
Fig. 2. Direct drive robot.

(a) Joint 3 の等角速度試験

(b) Joint 2 の等角速度試験 等角速度試験

図 3 等角速度試験と推定正弦波

Fig. 3. Experimental results of constant angular velocity motion tests and Estimated sine curves.

a) 平行な場合

- (1) 関節 i の等角速度試験より、関節 i での重力の影響が 0 となる暫定的な原点位置を求める。この位置では、リンク i は鉛直方向を向く。
- (2) 次に、関節 $i-1$ の試験では、リンク i が常に鉛直方向を向くように、関節 i に逆方向の等角速度を与える。
- (3) 関節 $i-1$ をその重力の影響が 0 となる位置 (関節 $i-1$ の暫定原点) に固定すると、リンク i とリンク $i-1$ は鉛直方向に沿った直線上にある。すなわち、関節 i の関節 $i-1$ に対する絶対位置が求められる。

b) 直角な場合

- (1) 関節 i に等角速度試験を行い、関節 $i-1$ の重力項を測定する。
- (2) 重力の影響が最大または最小となるときの、リンク i とリンク $i-1$ が直線状となる。この位置が、関節 i の絶対位置の原点であり、ここに関節 i を固定する。

これらのプロセスを繰り返して、先端から基底へ求めていく。なお、いずれの場合にも、関節の回転面が水平に近

く重力項の変化が現われにくい場合には、基底側の関節を回転させ、重力の影響が大きくなるような姿勢にする。また、a) では、干渉力が発生するが、その値は十分に小さく、無視できる。

4. 実験

図 2 に示す 3 自由度多関節ダイレクトドライブロボット (DD ロボット) に、本手法を適用した結果を示す。制御上の指令値計算には DSP (μ PD77230) を用い、サンプリング時間は 1 msec である。実験は、関節 2、関節 3 を用いて行った。これは、試験方法 a) の場合に該当する。

各関節についての等角速度試験の結果および推定された正弦波を図 3 に示す。図 2(b) では、摩擦等によるノイズが多く含まれているが、積分を用いた推定法により、(1) 式で表わされる外乱成分がよく同定されている。

5. むすび

外乱オブザーバにより算出される推定外乱トルクを用いた多関節ロボットにおける絶対位置の推定法を示した。さらに、DD ロボットを用いた実験により本手法の有効性を検証した。
(平成 6 年 6 月 28 日受付)

文 献

- (1) 村上・大西：「外乱オブザーバによる多自由度ロボットの動特性同定法」, 日本ロボット学会誌, 11, 131 (平 5-1)
- (2) T. Murakami & K. Ohnishi: "An Advanced Approach of Servo Control in Industrial Robot", IEEE. Workshop on Intel. Robo. & Sys. (IROS '88), 379~384 (1988)

柴田 昌明 (学生員) 昭和 43 年 9 月 24 日生。平成 5 年 3 月慶應義塾大学大学院電気工学専攻修士課程修了。同年 4 月同大学大学院後期博士課程入学、現在に至る。主としてロボットおよびモーションコントロールに関する研究に従事。

大森 芳行 (非会員) 昭和 44 年 3 月 15 日生。平成 4 年 3 月慶應義塾大学大学院電気工学専攻修士課程修了。同年 4 月電源開発(株)入社。在学中は主として、モーションコントロールに関する研究に従事。

村上 俊之 (正員)

昭和 40 年 10 月 5 日生。平成 5 年 3 月慶應義塾大学大学院後期博士課程修了。同年 4 月同大学理工学部電気工学科助手。工学博士。現在、ロボットおよびモーションコントロールに関する研究に従事。

大西 公平 (正員)

昭和 27 年 7 月 25 日生。55 年東京大学大学院博士課程修了。工学博士。現在、慶應義塾大学理工学部電気工学科助教授。