

移動平均法を用いた多関節ロボットの動作指令生成

北九州高専 上野大志

1. 緒言

産業用ロボットにおいて、生産性の向上のため、動作の高速高精度化を行うことは重要な課題である。ロボットの高速高精度化のため様々な制御手法が提案されており、より高度なシステム設計が要求されている。しかし、システム制御を行い、振動モードに対処するには制御対象となるロボットに関して深い知識が必要であり、何らかの理由で制御対象となるロボットが変わった場合の対処が困難である。そこで本研究では移動平均法を用い、ロボットの入力指令を調整することで動作の高速高精度化を行う手法を提案する。

2. 実験装置

実験には産業界で広く使用される垂直多関節ロボットを用いる。ロボットを Fig.1 に示す。ロボットはグランド側から旋回軸(S 軸)、下腕軸(L 軸)、上腕軸(U 軸)、手首振り軸(B 軸)の 4 軸から構成されている。サーボモータには減速機、エンコーダを内蔵している。コントローラには、ハードリアルタイム OS である RT-Linux を用いサンプリング時間 0.01[s]を補償している。先端には加速度センサを取り付け、アームの先端加速度を測定した。ロボットの動作指令は Windows 上で作成する。作成されたモータ角度指令は RT-Linux 上の P-PI 制御演算プログラムによってトルク指令と変換される。サーボモータはトルク指令を受け取り動作する。

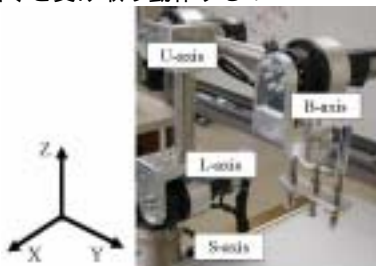


Fig.1 Articulated robot

3. 移動平均法

移動平均法は本来、気象予測や株式変動を予想するアルゴリズムであり、非常に大きなデータ数を扱う。しかし単純なアルゴリズムであるためデータ数が多くても処理速度が速い。このことからデータ数の多いモータの速度指令作成に採用されている。また移動平均法は速度指令に加減速を付加し、平均化ができる。よって本研究では高速高精度の指令生成に移動平均法を採用する。

a_n を処理前の速度指令、 b_n を処理後の平均化された速度指令、 n を一回の平均化にとるデータ数(移動平均のパラメータ n)とすると移動平均法の式は以下で与えられる。

$$b_{n+1} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} \quad (1)$$

4. 速度指令調整

本実験では旋回軸を 30 度動作させるモータ角度指令を作成する。旋回軸のモータ回転角度は減速比 120、分解能 16 ビットの時、モータの動作角度をパルスとして式(2)で求める。

$$\begin{aligned} \text{motor pulse} &= \frac{2^{16}}{2\pi} \times 30 \times \frac{\pi}{180} \times 120 \quad (2) \\ &= 655360[\text{pulse}] \end{aligned}$$

式(2)で求めたモータパルスは速度指令における面積である。モータ稼働時間を 200[msec]と設定すると、最大速度は式(3)から求められる。

$$\begin{aligned} \text{Max velocity} &= \frac{\text{motor pulse} [\text{pulse}]}{\text{operation time} [\text{m sec}]} \quad (3) \\ &= 3276 [\text{pulse} / \text{m sec}] \end{aligned}$$

式(2)、(3)から四角形波形の速度指令を作成する。この四角形波形を移動平均法により台形波形にする。移動平均のパラメータ n をそれぞれ 200, 500, 800, 1000 に設定し、それぞれの動作実験を行い、アームが動き出してから先端の振動が収まるまでの時間を検証する。その中で最も位置決め時間が短い n を選定する。

この結果を Tab.1 に示す。最も早くモータ位置決めが完了するのは n が 200 だが、停止時の残留振動の発生によって全動作時間は最も長い。対して最もモータ位置決め完了する時間が長い n が 1000 の時が最も速く位置決めを完了していることが分かる。

Tab.1 End time of all operation 1

n	Motor operating time	Residual vibration time	All operating time
200	500	1600	2100
500	800	1500	2300
800	1100	2000	3100
1000	1300	600	1900

[msec]

5. 加速度指令調整

ロボットの高速高精度化には停止時の残留振動の対処が必要であると分かった。急に動作を開始したり停止したりしないようにゆるやかに加速、減速する指令を作成する。そこで前節では速度の移動平均をとることで加減速を与えたが、本節では加速度に移動平均をかけて加減速を与える方法を提案する。この方法でさらにゆるやかな加減速を与えた動作指令が期待できる。

作成手順はまず、前節と同じように四角形の速度指令を作成する。その速度指令に加減速を与える。この指令は前節で作成した動作指令である。その速度指令を微分して加速度に変換する。このとき、加速度は四角波形である。この加速度指令にさらに移動平均をとる。ここで 2 度目の加減速を与えるため、前節の指令よりもゆるやかな加減速であるといえる。この加速度指令を 2 回積分して位置指令に変換し、ロボットに送る。動作実験を行い、前節の速度に移動平均をとった結果と比較検証する。その結果を Tab.2 に示す。 n が 200 の時、前節で最も短かった 1900[msec]よりも速いことが分かった。

Tab.2 End time of all operation 2

n	Motor operating time	Residual vibration time	All operating time
200	600	1100	1700
500	1200	1300	2500
800	1800	700	2500
1000	2200	800	3000

[msec]

6. 結論

- (1) 移動平均を用いて速度指令と加速度指令に加減速を付加する 2 種類の手法を提案した。
- (2) 速度指令に加減速を与えるとモータの速応性はよいが、残留振動により全体の位置決め時間は長くなる。
- (3) 動作の停止時に励振され発生する残留振動を、加減速をゆるやかにすることで加振力を低減し、抑制できた。

[謝辞]

本研究を行うにあたり、浜松弘教授にご指導いただきました。厚くお礼申し上げます。