21609 マイクロステップ駆動技術を用いたステッピングモータとハーモニック減速機で駆動される単関節ロボットアームの動的解析

Dynamic analysis of one-link robot arm driven by stepping motor using micro step drive technique and harmonic reduction gear

○ 小島宏行 (群馬大学)
桑野好文 (日本サーボ)

本村健悟 (群馬大学)
阿部慶一 (日本サーボ)

Hiroyuki KOJIMA, Gunma University
Kengo MOTOMURA, Gunma University
Yoshifumi KUWANO, Japan Servo Corporation LTD
Keiichi ABE, Japan Servo Corporation LTD

In this paper, first, the dynamic characteristics of the one-link robot arm driven with a stepping motor are investigated theoretically. The stepping motor was driven by the four-division micro step technique. Then, it is confirmed theoretically that the amplitudes of the vibrating torque of the stepping motor in case of the micro step drive are considerably smaller than the ones in case of the full step drive, and the transient vibrations of the stepping motor in the acceleration and deceleration periods can be reduced by using the micro step drive. Furthermore, the experimental results are demonstrated.

Key words: Dynamic analysis, robot arm, stepping motor, harmonic reduction gear, micro step drive

1. 緒 言

ステッピングモータは、センサを必要としないフィードフォワード制御が可能であることなどの利点を有し、デジタルアクチュエータとして広く用いられている。また、ステッピングモータの動的解析⁽¹⁾、乱調現象解析⁽²⁾などに関する研究も報告されている。しかしながら、マイクロステップ技術を用いたステッピングモータで駆動されるロボットアームの動特性に関する研究は有用であると言えるが、この種の研究は極めて少ないようである。

本研究は、マイクロステップ技術を用いたステッピングモータとハーモニック減速機で駆動される単関節ロボットアームの動特性を理論的に調べるとともに、実験を行ったものである。

2. 運動方程式

図1は、本研究で試作した単関節ロボットアームの外観を示したものであり、単関節ロボットアームは、ハイブリッド型2相ステッピングモータとハーモニック減速機で駆動されている。2相ステッピングモータのトルクは、次式で記述される。

$$\tau_s = \tau_{sA} + \tau_{sB} \quad (1)$$

ここに、

$$\tau_{sA} = -i_A K \sin\left(Z_R \phi - \frac{\pi}{4}\right), \quad \tau_{sB} = -i_B K \sin\left(Z_R \phi - \frac{3\pi}{4}\right) \quad (2)$$

$$Z_R = \frac{\pi}{2\phi_s} \quad (3)$$

であり、式(2)中の K は比例定数、 ϕ_s はステップ角である。4分割のマイクロステップ駆動の場合の励磁電流は、図2のように表される。

式(1)を用いると、系の運動方程式は次式のように書ける。

$$J_a \ddot{\theta} + \tau(\psi) = 0 \quad (4)$$

$$J_m \ddot{\phi} + c\dot{\phi} - \frac{1}{N} \tau(\psi) = \tau_s \quad (5)$$

Fig.1 Photograph of experimental apparatus

Fig.2 Exciting current pattern

ここに、

$$J_a = \frac{1}{3} m l^2, \quad \psi = \theta - \frac{\phi}{N} \quad (6)$$

であり、 θ は関節角、 ϕ はステッピングモータの回転角、 m, l はアームの質量および長さ、 N は減速機の逆数、 τ は、図3に示されているようなハーモニック減速機のトルクを表している。

Fig.3 Characteristics of harmonic reduction gear

Fig.4 Simulation results incase of full step drive

3. 数値シミュレーション結果と実験結果

図4および図5は、系の動的応答の数値シミュレーション結果を示したものである。図より、低振動数領域の過渡振動がマイクロステップ技術によって抑制されていることがわかる。また、この振動抑制効果は、図6の実験結果からも確認できる。

4. 結 言

本研究は、マイクロステップ技術を用いたステッピングモータとハーモニック減速機で駆動される単関節ロボットアームの動的解析を試みたものである。数値シミュレーションと実験を行ったところ、低振動数領

Fig.5 Simulation results incase of micro step drive

Fig.6 Experimental results

域の過渡振動がマイクロステップ技術によって抑制し得ることが検証された。また、マイクロステップ技術を用いることにより、ステッピングモータのトルクの振動成分がより小さくなることが確かめられた。

参考文献

- (1) D. J. Robinson, and C. K. Taft, A Dynamic Analysis of Magnetic Stepping Motors, IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation, Vol.IECI-16, No.2 (1969), pp.111-125.
- (2) C. K. Taft and R. G. Gauthier, Stepping Motor Failure Model, IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation, Vol.IECI-22, No.3 (1975), pp.375-385.