運転制約を考慮した水圧モータのモデル予測回転速度制御

稲田諒*, 伊藤和寿*

Model Predictive Rotational Velocity Control for Water Hydraulic Motor with Operational Constraints

Ryo INADA*, Kazuhisa ITO*

This research describes rotational velocity control of water hydraulic motor used for elevator system in power plant with model predictive control (MPC). For actual applications of water hydraulic motor, practical operational constraints should be considered as well as control specifications. However, conventional control system is difficult to deal with these constraints in design steps. This research applies MPC to water hydraulic motor system to solve these problem. In this paper, we assume that water hydraulic motor uses passenger elevator and we evaluate control performance of both MPC and PI control. Experimental results show that MPC can improve its percent undershoot about 86.5 % compared with PI control.

Key Words: Water hydraulic system, Motor control, Model predictive control, Operational constraints

1. はじめに

石油化学産業等で広く実用化されているモデル予測制御(MPC)は、有限時間内の状態変数を予測し、制約条件を考慮した最適制御入力を算出する制御手法である。MPCは一般的に演算量が非常に多いため、従来比較的応答が遅いシステムにしか用いられていなかった。しかし、近年では高速な計算機が安価に入手可能になったことを背景に、比較的高速なシステムに対してもMPCが容易に適用できるようになった[1].

本研究では、高い静浄度と低い環境負荷を特長とする水圧モータシステムを制御対象とする、水圧モータシステムは圧力伝達媒体である水の低い圧縮性により応答性が高く、オーバーシュートが起こりやすいといった問題点がある。また、実際に使用する場合の制約も考慮する必要がある。例えば、水圧モータの許容上限回転数、サーボ弁への許容入力電圧などがこれに相当するが、これまでの制御系では設計の段階でこれらの制約を考慮するのが難しかった、以上の点から水圧モータにMPCを適用することにより、水圧モータの適用範囲が大きく広がると考えられる。

本研究では、水圧モータを火力発電所のエレベータ駆動に使用することを想定する。そして、エレベータ及び水圧モータシステムの制約条件を考慮したMPCとPI制御との制御性能を水圧モータ単体の実

* 芝浦工業大学システム理工学部

(〒337-8570 埼玉県さいたま市見沼区深作307)

(E-mail: bq13012@shibaura-it.ac.jp)

験にて評価・比較する.

2. モデル予測制御

本研究で用いる MPC の評価関数を式(1) に示す.

$$J(k) = \min_{\hat{u}(k+i|k)} \left[\sum_{i=1}^{H_p} |\hat{e}(k+i|k)|^2_{Q(i)} + \sum_{j=0}^{H_u-1} |\Delta \hat{u}(k+j|k)|^2_{R(j)} \right]$$
(1)

ただし、 H_p 、 H_u 、 $\Delta \hat{u}$ 、 \hat{e} はそれぞれ、予測区間、制御区間、最適な入力の変化量、目標値と予測出力との追従誤差、である。また、右辺第一項、第二項はそれぞれ、各時刻での追従誤差に重みQを乗じて総和を評価したもの、各時刻での制御入力の変化量に重みR を乗じて総和を評価したもの、である。

3. 実験結果

本研究での実験回路を Fig.1 に示す.

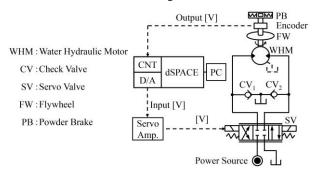


Fig.1 Experimental circuit

本実験では、エレベータに196[kg] の荷重が加わったと仮定し、パウダブレーキで1[Nm] の負荷を与える. また、最大供給圧力を7[MPa] に設定する.

^{*} Shibaura Institute of Technology

ここで、実験で用いる水圧モータの定格回転速度は500[rpm]以上となっているため、サーボ弁への印加電圧を、500[rpm] 以上となる5[V] から、最大印加電圧である10[V] までとする。また、回転数の制約及び実験結果は、入力電圧7[V] のときの回転数の定常値を基準にオフセットしたものを示す。以上より、本実験で考慮するエレベータ及び水圧モータシステムの制約条件はTable 1 に示すようにスケーリングされる。また、目標値にはエレベータの理想運転曲線を基に設計したFig.2 を使用する。

Table 1 Constraints

Item	Value	Unit
Elevating acceleration	±0.9	$[m/s^2]$
Input voltage	5-10	[V]
Allowable rotational velocity	0-30	[rpm]

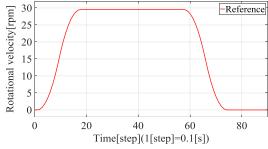


Fig.2 Reference (after offset)

Fig.2 の目標値に対して追従するために、PIコントローラを式(3) のように設計する.

$$u(t) = K_p e(t) + K_{i1} \int e(t) dt + K_{i2} \iiint e(t) d\sigma \, d\gamma \, dt \qquad (2)$$

ただし, K_p , K_{i1} , K_{i2} , e(t) はそれぞれ, 比例ゲイン, 積分ゲイン, 三重積分ゲイン, 追従誤差, である. なお, PI 制御の各ゲインは, 水圧モータの加速時, 定速時, 減速時の各段階においてそれぞれチューニングを行った.

Table 2 に示す条件の下で行った実験結果をFig.3-5に示す. 追従誤差の二乗平均平方根 (RMS)で追従性を,パーセントオーバーシュート (P.O.) 及びパーセントアンダーシュート量 (P.U.) の最大値で制約条件を超えた量をそれぞれ評価する.

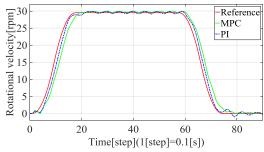


Fig.3 Rotational velocity (after offset)

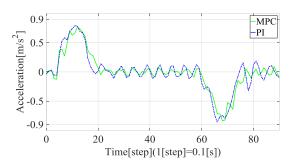


Fig.4 Acceleration

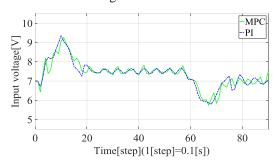


Fig.5 Input voltage to servo valve

Table 2 Comparison analysis of experimental results

Item	MPC	PI
RMS (0 to 90 [step]) [rpm]	2.25	1.20
Maximum P.O.	0	0
Maximum P.U.	0.47	3.48

Table 2 より、PI 制御と比べてMPC はわずかに追従性が悪化している一方、86.5 [%] 最大P.U. が改善されていることが分かる. このことより、PI制御と同等の制御性能を得られた上に、P.O.及びP.U.が抑えられていることが分かる. また、PI 制御は目標値の各段階に分けてチューニングをしているため、チューニングパラメータが多く、適切なゲインを設定するために多大な工数がかかる. 従って、MPC はPI 制御と比べチューニングが大幅に簡素化される.

4. 結言

本研究では、エレベータ及び水圧モータシステムの制約を考慮したMPCを設計し、水圧モータ単体の実験においてPI制御との性能評価を行った。その結果、MPCはPI制御と同等の制御性能を発揮することが出来、最大P.U.を改善することができた.

参考文献

- 1) 伊藤和寿:油圧制御技術に応用される制御理論(モデル予測制御入門),ターボ機械,43-5,15/21(2015)
- 船井潔:エレベータの安全快適技術, IATSS Review, 27-2, 35/36 (2002)