

602 最適予見サーボ系を用いるモデル追従制御系の実験的研究

An Experimental Study of Model Following Control System with Optimal Preview Servo System

○ 学 内田 幸宏 (新潟大) 長島 弘明 (新潟大) 正 愛田一雄 (新潟大) 今井 純一 (新潟大)

Yukihiko Uchida, Niigata University, Ikarashi2-nocho8050, Niigata, 950-2181

Hiroaki Nagashima, Niigata University Kazuo Aida, Niigata University Junichi Imai, Niigata University

Key Word: Optimal Preview Servo System, Model Following Control System, Experimental Study

1. はじめに

未来の目標値をフィードフォワードする予見制御系は位相の遅れを回復させるため、追従性が向上することが知られている。

本研究では、最適予見サーボ系をモデル追従制御系に応用し、線形近似離散化モデルが非最小位相系となる3槽タンクシステムを用いて実験的研究を行った。

追従性、ロバスト性、外乱抑制性、および観測雑音の影響などから判断して、最適予見サーボ系は、目標入力の変幅および変化速度のある限度内で、モデル追従制御系として十分実用になることがなかった。

2. 実験装置

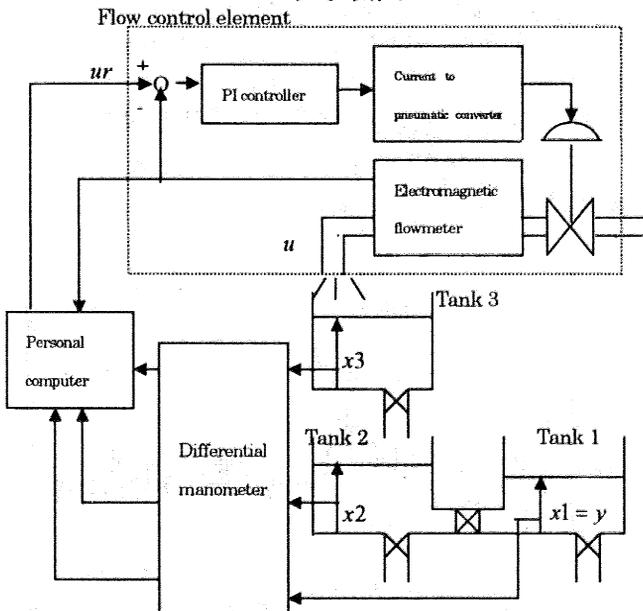


Fig. 1 Schematic diagram of experimental system

本研究では制御対象として Fig. 1 のような3槽タンクシステムを用いた。タンクの断面積 $A1=114[cm^2]$ 、 $A2=141[cm^2]$ 、 $A3=85[cm^2]$ 、タンク 2 から下へ流れるバルブの流体抵抗 $R2=1.11[s/cm^2]$ 、 ur は流量制御部への指令信号、操作量 u は電磁流量計で計測される水の流量、 $y = x1, x2, x3$ はそれぞれのタンクの液位を表している。(液位と流量 u の定常値は $x10 = 92.3[mm]$ 、 $x20 = 122[mm]$ 、 $x30 = 102[mm]$ 、

$u0 = 43.9[cm^3/s]$)タンク 1 の液位をモデルの出力に追従させる制御を諸条件を変えて行った。

3. 制御系の構成

3.1 制御系の設計

Fig. 2 に本制御系のブロック線図を示した。制御対象の同定によ

り状態方程式が (1) (2) 式のように表わされているとする。ただし、入力側に 2[s] の無駄時間を含めたモデルとし、 $x \in R^5$ 、 $y \in R^1$ 、 $u \in R^1$ でプラントは可制御、可観測である。また、サーボ補償器として積分器を用いる。この系に対して、拡大エラーシステムを用いて設計する。規範モデルの出力 y_m の予見ステップ数を LP とすると (3) 式以下のようになる。

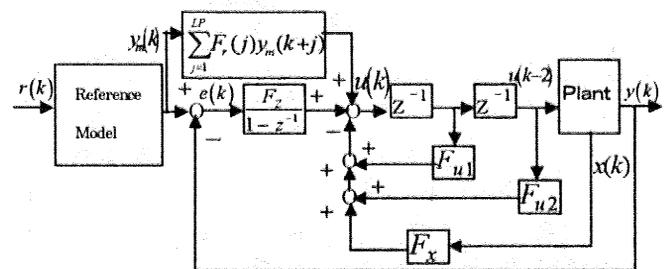


Fig. 2 Model following control system with optimal preview servo system

$$\begin{cases} x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) & (1) \\ y(k) = Cx(k) & (2) \end{cases}$$

$$y(k) = Cx(k) \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} \alpha(k+1) \\ \Delta x(k+1) \\ \Delta Y_{m,LP}(k+1) \end{bmatrix} = \bar{A} \begin{bmatrix} \alpha(k) \\ \Delta x(k) \\ \Delta Y_{m,LP}(k) \end{bmatrix} + \bar{B} \Delta u(k) \quad (3)$$

$$Y_{m,LP} = [y_m(k+1) \ y_m(k+2) \ \dots \ y_m(k+LP)]^T \quad (4)$$

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 1 - CA & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & A & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\bar{B} = [-CB \ B \ 0 \ \dots \ 0]^T \quad (6)$$

ここで、

$$e(k) = y_m(k) - y(k) : \text{誤差}, \Delta = 1 - z^{-1} : \text{差分演算子}$$

この拡大エラーシステムに対する評価関数 (ρ ; 重み)

$$J = \sum_{j=-LP}^{\infty} \{e_j^2 + \rho \Delta u_j^2\} \quad (7)$$

を最小にするフィードバック、フィードフォワード係数ベクトル

$$f = [F_z \ F_x \ F_{u1} \ F_{u2} \ F_r]^T \quad (8)$$

を設計する。ここで

$$F_z \ F_x \ F_{u1} \ F_{u2} \ F_r$$

はそれぞれ、サーボ補償器、安定化補償器、無駄時間補償器、予見フィードフォワード補償器の係数ベクトルである。

3.2 Reference Model

Reference Model の伝達関数を次のように設定した。

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (9)$$

$\zeta = 1/\sqrt{2}$ とし ω_n には任意の値を与えた。

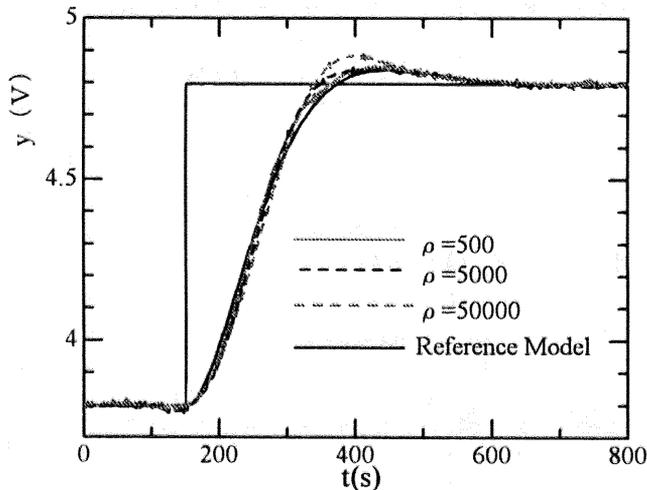
4. 実験結果

予見ステップ数 $LP = 150$ 、サンプリングタイム $1[s]$ で実験を行い以下の結果が得られた。

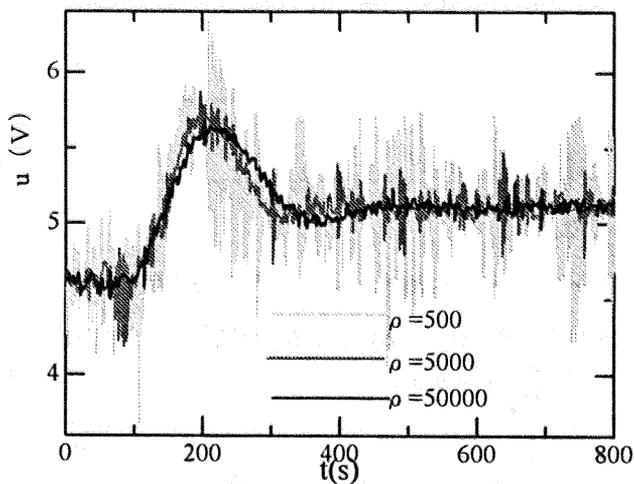
4.1 評価関数の重み ρ の変化と追従性

Fig. 3(a) はステップ入力 $r(k) = 1[V]$ (液位の変化 $37.5[mm]$)、Reference Model の ω_n を $0.015[rad/s]$ と設定した時の y_m に追従させた出力 y を示す。重み ρ を小さくした時、追従性が良いことがわかる。

Fig. 3(b) はこの時の条件の時の流量 u (流量の変化 $1[V]$ あたり $16.9[cm^3/s]$) の結果である。重み ρ を大きくした時、雑音の影響が少ないことがわかる。



(a) Output y



(b) Control input u

Fig. 3 Tracking properties for various ρ 's values

4.2 ステップ幅比較

Fig. 4 は Reference Model の ω_n を $0.015[rad/s]$ で追従性の比較

をするため追従性の悪い重み $\rho = 50000$ に設定して、ステップ入力 $r(k)$ の幅を変えて行った実験結果をすべて $1.0[V]$ に換算したものである。ステップ幅が小さいほど追従性がよくプラントの非線形性の影響が出た。

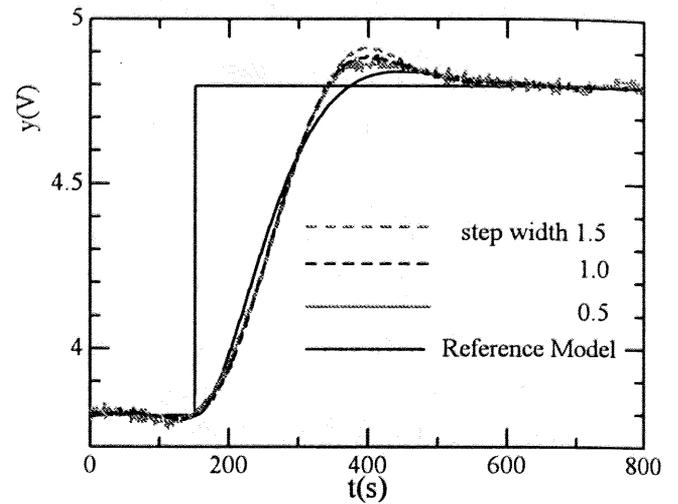


Fig. 4 Tracking properties for various step width

4.3 重み ρ の変化と外乱除去特性

Fig. 5 は $x1=y$ の液位が一定時に、 $t=200[s]$ で入力 ur に外乱 $2[V]$ を加えた時の結果である。

Fig. 5 から重み ρ を小さくすることにより外乱の影響を改善する外乱除去特性が優れていることがわかる。

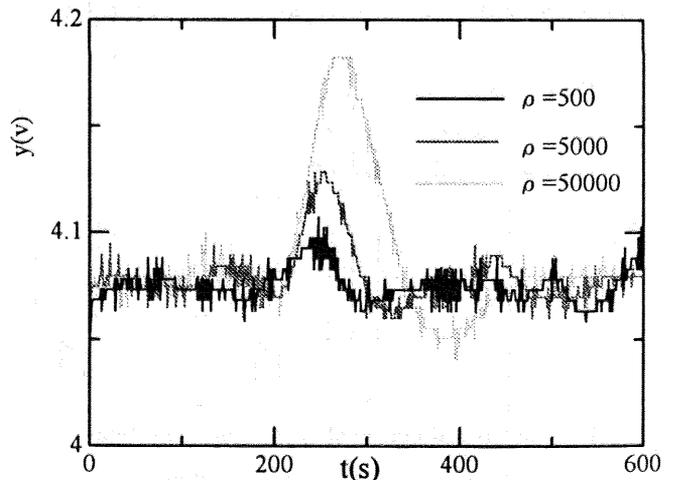


Fig. 5 Disturbance rejection properties (disturbance into ur)

5. 結言

重み ρ と追従性、雑音の影響、外乱除去特性、ロバスト追従性、の間にはトレードオフの関係があることを実験により確かめた。また、非線形性の強い3槽タンクを制御対象に用いてその影響が出ることも確かめ、Reference Model の ω_n が $0.015[rad/s]$ でモデルに対して $\rho = 500$ でステップ入力の幅が $1.0[V]$ の時、ほぼ完全追従していると言えるので十分実用になることが分かった。

参考文献

- 1) 土谷、江上：デジタル予見制御、産業図書(1992)
- 2) 長縄、平沼、愛田：2自由度最適1型サーボ系のタンクシステムへの応用と周波数領域での解析、システム制御情報学会論文誌(1999)