

MSGAを用いたむだ時間線形システムにおける 5AH-10モデル規範ファジィ適応制御器(MRFACS)の設計*

小林浩幸[†], 徐欽志[†], 山田新一[†], 藤川英司[†]

[†]武蔵工業大学

1. はじめに

実在のシステムはむだ時間を含むことがない。むだ時間はたいていシステム構成部を信号が流れるときや、操作するときが発生し、プラントやその出力に影響を与える。一般的にはむだ時間を補償するためにPID制御法やスミス法、最適制御法などが用いられているが、これは様々な初期状態で高いパフォーマンスを得るようなシステムを構築する場合、システムの正確な同定が必要となるので、制御器の設計が難しくなってしまう。そこで、ファジィ推論を用いたモデル規範適応制御システム(MRFACS)を提案する。しかし、ファジィルールは試行錯誤的に作成するので経験に支配される。そこで、その最適化に複数オペレータを考慮した自動調整型GA(MSGA)を導入する。また、パラメータが大きく変化するむだ時間プラントに対して、本システムが有効であることを検証するために、二次遅れプラントにおけるスミス法、PID制御法の結果と比較する。

2. むだ時間プラント

図1に入力部におけるむだ時間プラントの概略を示す。この図の伝達関数 $G(S)$ は以下のように定義する。

$$G(S) = \frac{K}{(1+ST) \times (1+0.2ST)} \quad (1)$$

また、入力信号の飽和状態は以下のような式で表す。

$$u_N(t) = \begin{cases} u(t), & |u| \leq \theta \\ \theta \operatorname{sgn} u(t), & |u| > \theta \end{cases} \quad (2)$$

ここで $K=1$, $T=1$, $T_D=5$ とし、入力とノイズは単位ステップ関数と仮定する。但し、MRFACSのロバスト性を

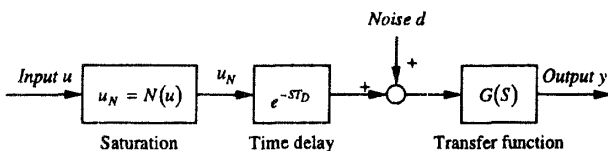


図1: むだ時間プラント

検証するために $K=1 \pm 0.25$, $T_D=5 \pm 2.5$ で変化させる。

3. MRFACSの設計

図1のプラントを置き換えると次のようになる。

$$G_p(S) = \frac{5K}{S^2 + 6S + 5} \times e^{-LS} \quad (3)$$

ここで $K=1 \pm 0.25$, $L=5 \pm 2.5$ とする。むだ時間プラントにおけるMRFACSの設計手順は以下の通りである。

(1) 規範モデルの選定

式(3)より $L=2.5, 5.0, 7.5$ としたむだ時間プラントの開ループステップ応答を図2に示す。ここでは整定時間 $T_s=5.0$ 、減衰係数 $\zeta=1.0$ 、固有周波数 $\omega_n=0.8$ の規範モデルを用いる。以下にこのときの二次規範モデルを示す。

$$T_s = \frac{4}{\zeta \omega_n} \quad (4)$$

$$G_m(S) = \frac{0.64}{S^2 + 1.6S + 0.64} \quad (5)$$

(2) システムの構築

本論文ではむだ時間プラントにファジィ同定システム(FIS)を用いたMRFACSを適用する^[1]。このシステム構造を図3に示す。また、このとき用いたファジィルールを式(6)に示す。

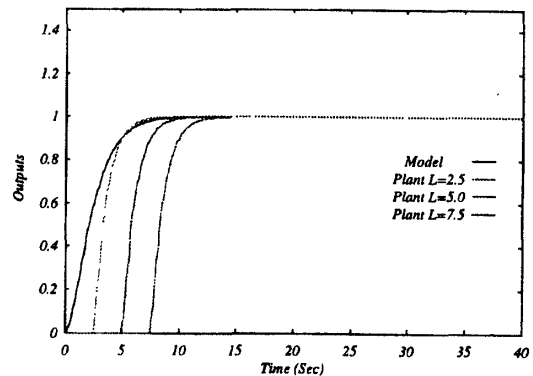


図2: むだ時間プラントと規範モデルの開ループステップ応答

*A Design of a Model Reference Fuzzy Adaptive Controller for Linear Systems with Time Delay Using MSGA
Hiroyuki Kobayashi, Chin-Chih Hsu, Shin-ichi Yamada, Hideji Fujikawa
Musashi Institute of Technology, Tamazutsumi 1-28-1, Setagaya-ku, Tokyo, 158, Japan

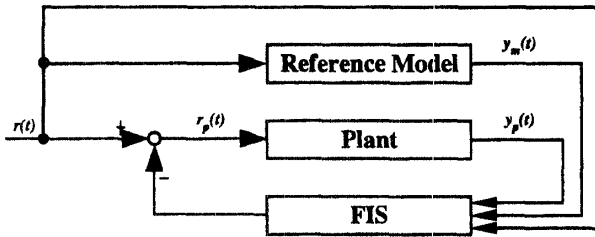


図 3: FISを用いた MRFACTS のブロック図

Rule i : (6)
 If y_p is A_i , Then

$$f_i \text{ is } B_{0,j} \sum_{j=1}^2 B_{1,j} b^{2j-1} + C_{0,j} \sum_{j=1}^3 C_{1,j} c^{2j-1} + D_{0,j} \sum_{j=1}^3 D_{1,j} d^{2j-1}$$
 for $i = 1, 2, \dots, 7$

$b = y_m - y_p$ (7)

$c = r - y_p$ (8)

$d = \dot{\epsilon}$ (9)

$$f(t_n) = \frac{\sum_{i=1}^7 \mu_{A_i}(y_p(t_n)) \times f_i}{\sum_{i=1}^7 \mu_{A_i}(y_p(t_n))}$$
 (10)

$r_p(t_n) = r(t_n) - f(t_n)$ (11)

$0 \leq B_{0,j}, C_{0,j} \leq 0.02$ (12)

$0 \leq D_{0,j} \leq 0.8$ (13)

$-2 \leq B_{1,j}, B_{2,j}, C_{1,j}, C_{2,j} \leq 2$ (14)

これらの係数は MSGA によって最適化される。

(3) MSGA を用いた FIS の最適化

ファジィルールの性能評価をするため、評価値を以下のように定める。

$$P_i(i, j) = \exp\left(-J_p(j) / 500\right)$$
 (15)

適合値は以下のように定義する。

$$f_v(i) = \prod_d \prod_K \prod_{j=1}^3 P_i(i, j)$$
 (16)

Noise: $d = 0$ (noiseless)
 $d = 1$ (step noise)
 Gain: $K = 0.75, 1.0, 1.25$
 Time Delay:
 $j = 1, L_j = 2.5$
 $j = 2, L_j = 5.0$
 $j = 3, L_j = 7.5$

また、 $J_p(j)$ は状態偏差の ITAE である。

$$J_p(j) = \int_{L_j}^{S_f} t^2 |y_m(t) - y_j(t)| dt$$
 (17)

4. シミュレーション結果

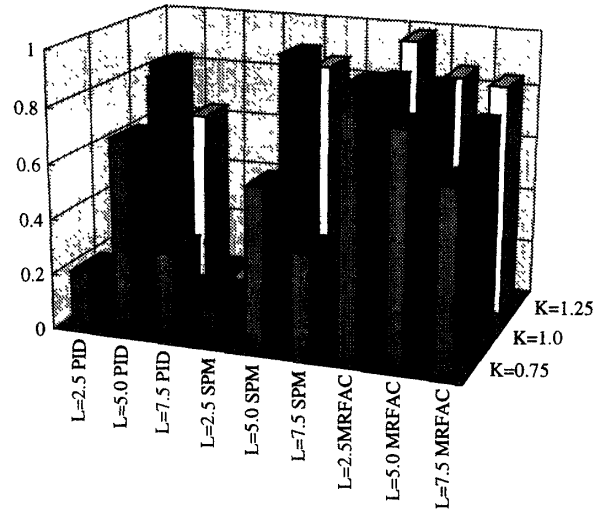


図 4: PID, SPM, MRFACTS の適合値 ($d = 0$)

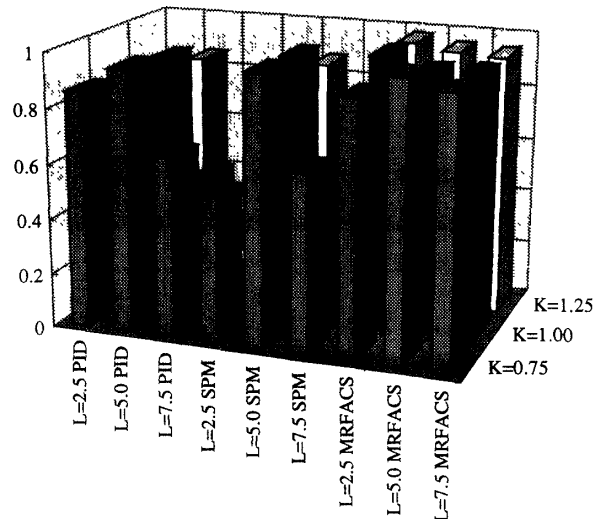


図 5: PID, SPM, MRFACTS の適合値 ($d = 1$)

5. おわりに

むだ時間プラントにおいて MRFACTS と PID 制御法、スミス法を比較した結果、PID 制御法とスミス法は大きなパラメータ変動にたいして効果的でないことが分かった。それに対し、MRFACTS はパラメータの変動に強いことから、パラメータが大きく変化するむだ時間プラントに有効であると言える。

Reference

[1] T. Takagi, "Fuzzy Identification of System and Its Applications to Modeling and Control", IEEE Trans. On SMC-15 (1) pp. 116 - 132, 1985.