

A Design Method of Fuzzy I-P Servo System with Preview Actions

○学 川瀬 裕志 (新潟大) 学 王 東 (新潟大)  
 正 愛田 一雄 (新潟大) 今井 純一 (新潟大)

Hiroshi Kawase, Niigata University, Ikarashi, 2-nocho8050, Niigata, 950-2181  
 Wong Dong, Niigata University  
 Kazuo Aida, Niigata University  
 Junichi Imai, Niigata University

Key Words : Fuzzy Control, Preview Action, Membership Function

1. 緒言

著者らは先に、上田・川本の座標変換法(Rotation)による簡略化されたファジィコントローラの設計法<sup>(1)</sup>と北森のI-P制御系の設計法<sup>(2)</sup>を用いてファジィI-P制御系を設計し、これに目標入力の未来情報を利用したファジィ予見動作を付加するファジィI-P予見コントローラの設計法を提案した<sup>(3)</sup>。多くのファジィ制御規則があれば、その相互作用によってかなりの非線形性を示すことになり、それがファジィ制御の特徴となっている。しかし、座標変換法により、もともと49個の制御規則を7個に簡略化しているため、比較的弱い非線形性を示すにとどまっていた。そのためファジィ制御の非線形性を生かしているとは言い難かった。

ファジィ制御では後件部メンバシップ関数の形を変えることにより、コントローラに非線形性を持たせることが可能となる。MFU(Membership Function of Uniform: Fig.2)ではほぼ線形制御となってしまう、非線形性を強めるためにはMFZ(Membership Function of Zero Constraints form: Fig.3)が望ましいが、単にMFZに変えただけでは応答が悪くなってしまう。

そこで、MFZを用いMFUよりも応答が良くなるように改善する方法を提案するとともに、数値シミュレーションによる検証結果を報告する。

2. 制御系の構成

Fig.1に本制御系のブロック図を示す。上田・川本の座標変換法の設計法に、北森のI-P型モデルマッチング手法の設計公式を導入することにより、座標回転角 $\theta$ 、前件部スケールングファクタ $\gamma$ 、後件部スケールングファクタ $c$ をそれぞれ得ることができる<sup>(3)</sup>。さらに、予見制御部(Preview)を付加し、ファジィI-P予見制御系を設計する。

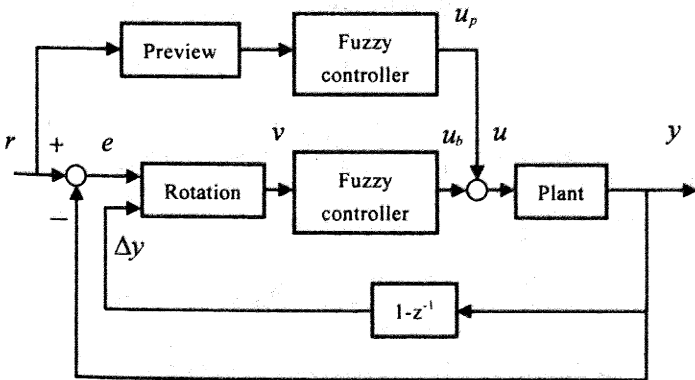


Fig. 1 Fuzzy I-P servo system with preview actions

3. メンバシップ関数の比較

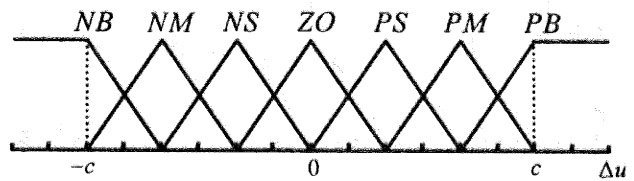


Fig. 2 Membership function of uniform

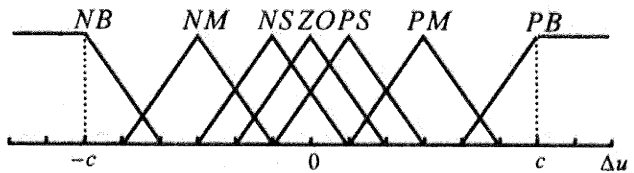


Fig. 3 Membership function of zero constraints form

Fig.2, Fig.3にMFU, MFZのメンバシップ関数をそれぞれ示す。本研究では、後件部にMFUでなくMFZを使用することを目指しているが、MFZに変えただけでは、立ち上がり時間・オーバーシュートともに悪くなる。

これは、Fig.4のファジィコントローラの入出力関係の比較図からわかる。コントローラへの入力値 $v$ が $-\gamma \sim \gamma$ の間ではMFZのゲインはMFUのゲインよりも小さくなっている。このため、このままではMFUよりもよい制御性能は期待できない。

そこで、北森のI-P制御系のパラメータであり立ち上がり時間に相当する $\sigma$ とゲインに相当する後件部スケールングファクタ $c$ を調整することにより、MFUよりも応答をよくすることを考える。

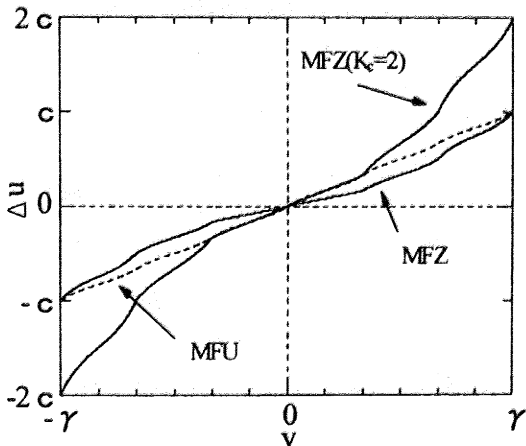


Fig. 4 Input-output relation of fuzzy controller

#### 4. チューニング

##### 4.1 後件部スケーリングファクタ $c$ のチューニング

Fig.4 からわかるように、

$$c' = K_c c \quad (K_c > 1) \quad (1)$$

とチューニングすることにより、MFZ のゲインは MFU のゲインに比べて目標値 ( $v=0$ ) から離れたところでは大きく、目標値に近いところでは小さくすることが可能となる。これは MFU に比べて立ち上がりがよく、しかも目標値付近では安定性に優れていることを意味している。

だが、(1)式のようにチューニングしただけでは、Fig.5 のように MFU より減衰振幅比がかなり大きくなってしまい、良い応答とは言えない。

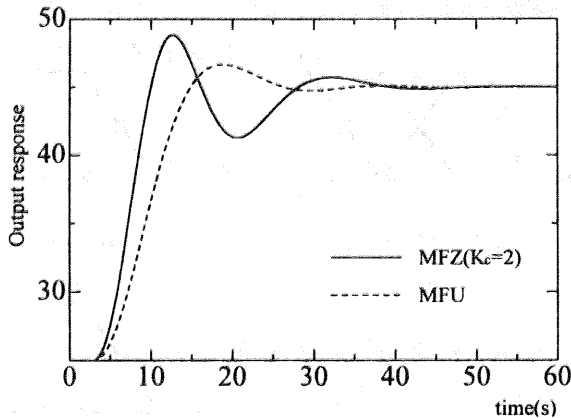


Fig. 5 Responses of fuzzy I-P for changed  $K_c$ .

##### 4.2 I-P 制御系パラメータ $\sigma$ のチューニング

上記のように  $c$  のチューニングのみでは、よい応答とは言えない。そこで、(2)式のように、 $\sigma$  に 1 以上の係数 ( $K_\sigma$ ) をかけて減衰振幅比を抑えることを考える。

$$\sigma' = K_\sigma \sigma \quad (K_\sigma > 1) \quad (2)$$

$\sigma$  に 1 以上の係数をかけることは立ち上がり時間を遅らせ、緩やかな応答とすることに相当する。

$K_c, K_\sigma$  の組み合わせにより、MFZ で MFU よりもよい応答をえることが可能となる。

##### 4.3 $K_c, K_\sigma$ の要請条件

最適な  $K_c, K_\sigma$  のペアを選択するために、以下のような要請条件を設定した。

- [1] 二乗誤差面積 (Integral of squared error)
- [2] オーバーシュート (Overshoot)
- [3] 行き過ぎ時間 (Peak time)
- [4] 振幅減衰比 (Amplitude damping ratio)

[1]~[3] に関しては MFU での値を基準値とする。

[4] に関しては、I-P 制御系の特性上、3 次のバターワースパターン系列のステップ応答における減衰振幅比(およそ 18%)を基準値とする。

#### 5. 予見制御部

現在の目標値と未来の目標値の差の加重平均を予見情報として用い、ファジィ予見制御を行っている。

要請条件：オーバーシュートを予見無しの時よりも抑え二乗誤差面積を最小にする

という条件の基に予見ステップ数  $L_p$ 、予見ゲイン  $K_p$  を設計した。

#### 6. シミュレーションによる評価

上記の設計法でシミュレーションを行った。例に選んだ制御対象は、次の二つである。サンプリングタイム 0.1[s] で設計してある。(3.a)は1層タンクを線形化した無駄時間一次遅れプラント、(3.b)は文献(2)で取り上げられている不足制動となる4次系プラントである。

$$G(s) = \frac{e^{-Ts}}{1+Ts} \quad (3.a)$$

$$G(s) = \frac{1}{1+4s+2.4s^2+0.448s^3+0.0256s^4} \quad (3.b)$$

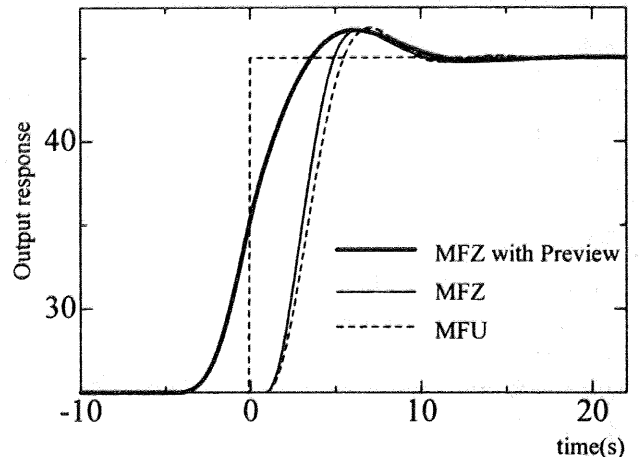


Fig. 6 Response of outputs for plant of eq. (3.a)

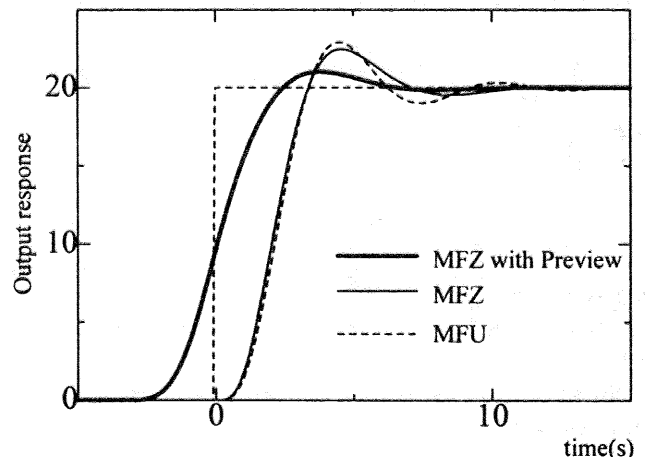


Fig. 7 Response of outputs for plant of eq. (3.b)

#### 7. 結言

パラメータをチューニングすることにより、コントローラに非線形性を持たせ、MFZ で MFU よりも良い応答を得ることができた。本論分では線形対象でシミュレーションを行っているが、非線形対象でシミュレーションした場合にはより効果が大いことを確認している。

#### 参考文献

- (1) 上田, 川本, 電力系統におけるファジィ制御のメンバシップ関数の単純化, 電気学会論文集 B, 110 巻, 5 号(1990), 445-446
- (2) 北森, 制御対象の部分的知識に基づくサンプル値制御系の設計法, 計測自動制御学会論文集, 15 巻, 5 号(1979), 131-136
- (3) 広川, ファジィ IP 予見制御系の一設計法, 日本機械学会北陸信越支部第 36 期総会・講演会論文集, No.997-1(1999), 185-186