

多入力系に対するファジィ制御器の簡易設計法

A Simple Design of Multi-Input Fuzzy Controller

○坂田宗久, 大久保重範

○Munchisa Sakata, Sigenori Okubo

山形大学

Yamagata University

キーワード: 多入力 (multi-input), フィードバック (feedback control), 線形結合 (linear combination), 簡易化 (simplification)

連絡先: 〒992 米沢市城南4-3-16 山形大学 工学部 機械システム工学科 大久保研究室

坂田宗久, Tel.: (0238)26-3246, Fax.: (0238)24-6445, E-mail: hsakata@mip3470.yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

一般に、システムの複雑化により、その入出力は増加する。このようなシステムに対してファジィ制御を行おうとすると非常に困難である。なぜなら、ファジィ制御器への入力変数の増加は、メンバーシップ関数及びメンバーシップ値の増加、ルールベースのルール増大を招く。これらはいずれもファジィ制御の複雑化の要因である。また、エキスパートがいない場合、素人がルールベースを作成することになり困難を有する。ニューラルネットワークを用いた方法もあるが、学習に時間がかかってしまう欠点がある。

本稿では、入力変数を係数付きの線形結合¹⁾を用いることで、入力変数の低次元化をねらい、ファジィ制御器の簡易化をおこなう。ルールベースにおいては、設計が容易な線形フィードバック制御の応答からルールベースを作成する。モデルとして1入力多出力系の倒立振子を使用する。

2. 倒立振子

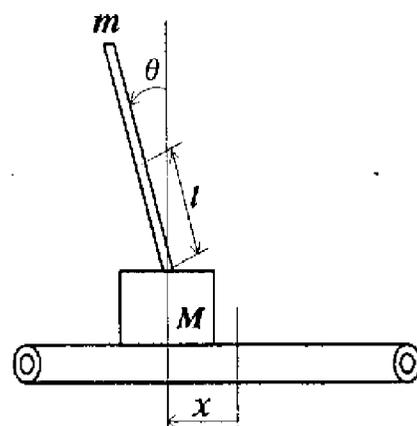


Fig. 1 Inverted pendulum

単倒立振子の運動方程式は式(1),(2)で与えられる。

$$(M + m)\ddot{x} + ml \cos \theta \ddot{\theta} - ml \sin \theta \dot{\theta}^2 + F\dot{x} = Gu \quad (1)$$

$$ml \cos \theta \ddot{x} + (J + ml^2)\ddot{\theta} + C\dot{\theta}$$

$$-mgl \sin \theta = 0 \quad (2)$$

各記号の意味は以下で示す。

$M(\text{kg})$	台車の等価質量
$x(\text{m})$	台車の変位
$u(\text{V})$	モータへの入力電圧
$G(\text{N/V})$	u から台車に働くトルクのゲイン
$F(\text{kg/s})$	台車の等価粘性摩擦係数
$J(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$	振り子の重心回りの慣性モーメント
$\theta(\text{rad})$	振り子の鉛直方向からの角度
$l(\text{m})$	軸から振り子の重心までの距離
$C(\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s})$	軸の粘性摩擦係数
$m(\text{kg})$	振り子の質量
$g(\text{m/s}^2)$	重力加速度

3. ブロック線図

フィードバック、ファジィ制御のときのブロック線図をFig.2,3に示す。

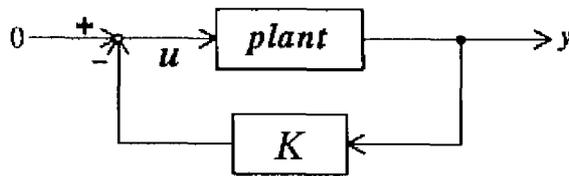


Fig. 2 Block diagram of Feedback control system

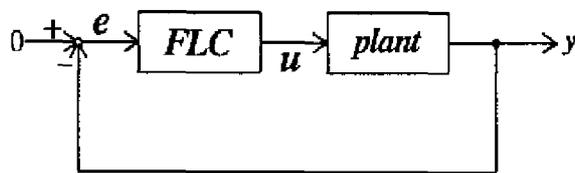


Fig. 3 Block diagram of Fuzzy control system

4. フィードバック

線形化した単倒立振子の状態方程式は A, B を定形数行列とする

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (3)$$

$$x = [x \ \theta \ \dot{x} \ \dot{\theta}]^T \quad (4)$$

で与えられ、それぞれの極を $[-2, -3, -4, -5]$ とする F ($u = Fx$)を正田の方法により求めるとフィードバック係数は(5)となる。

$$F = [2.051 \ 22.71 \ 17.73 \ 2.767] \quad (5)$$

5. ファジィ推論

以下にproduct-sum 重心法の手順を示す。

- 1) 各規則の適合度 w_i を計算する。

$$w_i = \mu_{A_{i1}}(x_1^*) \wedge \mu_{A_{i2}}(x_2^*) \quad (6)$$

- 2) 各規則の後件部の推論結果 B_i^* を計算する。

$$\mu_{B_i^*}(y) = w_i \times \mu_{B_i}(y) \quad (7)$$

- 3) 各規則の統合結果 B_i^* を統合して、各規則の推論結果 B^* を計算する。

$$\mu_{B^*}(y) = \sum_{i=1}^n \mu_{B_i^*}(y) \quad (8)$$

- 4) 推論結果 B^* の重心を計算する。

$$y^* = \frac{\int y \mu_{B^*}(y) dy}{\int \mu_{B^*}(y) dy} \quad (9)$$

6. 入力変数の線形結合

台車の位置を x , 振り子の角度を θ として、

$$X = a_1 x + a_2 \dot{x} \quad (10)$$

$$Y = b_1 \theta + b_2 \dot{\theta} \quad (11)$$

とおく。係数を減らす為に式(10),(11)を以下のよう規格化する。

$$X = x + A\dot{x} \quad (A = a_2/a_1) \quad (12)$$

$$Y = \theta + B\dot{\theta} \quad (B = b_2/b_1) \quad (13)$$

本稿において、 a_1, a_2, b_1, b_2 にフィードバック係数を用いる。

7. メンバシップ関数

ファジラベルをNB, NS, ZO, PS, PBとする。
 X, Y, u のメンバシップ関数を μ_X, μ_Y, μ_u として、それぞれのメンバシップ関数を高さが1の正規型として、Fig.4で表す。

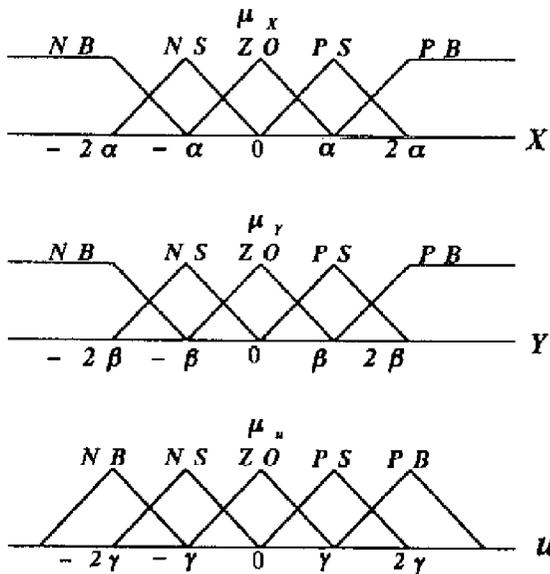


Fig. 4 Membership Functions

8. ルールベースの作成

Fig.4で示したメンバシップ関数より、それぞれのファジラベルを α カット²⁾を用いることにより、フィードバック制御の応答 X, Y, u をファジラベルに置き換える。ここで X, Y は

$$X = x + 8.6\dot{x} \quad (14)$$

$$Y = \theta + 0.12\dot{\theta} \quad (15)$$

である。本稿において、パラメータの変域は適宜上 $0.5 < \alpha_c \leq 1$ とし、メンバシップ値をそれぞれ、 $\alpha = 0.1, \beta = 0.01, \gamma = 5$ としてルールベースを作成する。

Fig.5,6,7のフィードバック応答より作成したルールベースはTable 1,2,3となる。これらのルールベースの色彩部を組み合わせることによりTable 4のルールベースを得る。

Table 1 Rule base1

	PB	PS	PB	PB	PB	PB
	PS	ZO		ZO	ZO	PS
X	ZO	ZO		ZO		PS
	NS	ZO			ZO	PS
	NB	ZO	ZO	ZO	ZO	PS
u	NB	NS	ZO	PS	PB	
	Y					

Table 2 Rule base2

	PB	ZO	ZO	PS	PS	PB
	PS	ZO			ZO	
X	ZO	ZO		ZO	ZO	
	NS	ZO			ZO	
	NB	NS	NS	NS	ZO	ZO
u	NB	NS	ZO	PS	PB	
	Y					

Table 3 Rule base3

	PB	NS	ZO	ZO	ZO	ZO
	PS	NS	ZO			ZO
X	ZO	NS		ZO		ZO
	NS	NS	ZO	ZO		ZO
	NB	NB	NB	NB	NB	NS
u	NB	NS	ZO	PS	PB	
	Y					

Table 4 Rule base

	PB	NS	ZO	PS	PB	PB
	PS	NS	ZO	ZO	ZO	PS
X	ZO	NS	ZO	ZO	ZO	PS
	NS	NS	ZO	ZO	ZO	PS
	NB	NB	NB	NS	ZO	PS
u	NB	NS	ZO	PS	PB	
	Y					

9. シミュレーション結果

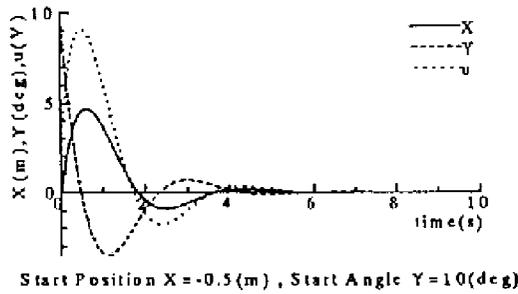


Fig. 5 Response of X and Y and u(Feedback)

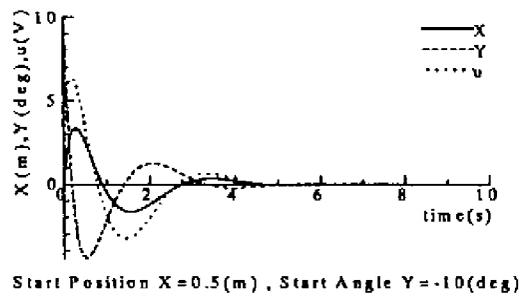


Fig. 6 Response of X and Y and u(Feedback)

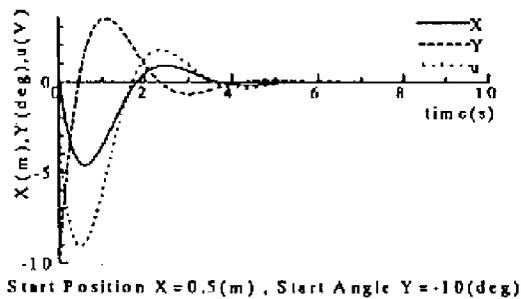


Fig. 7 Response of X and Y and u(Feedback)

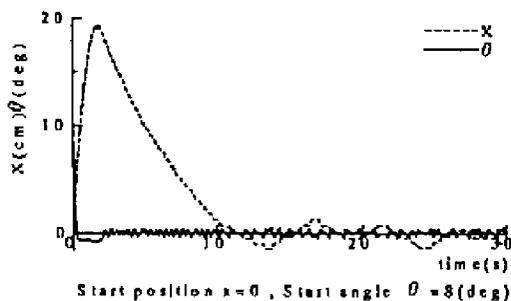


Fig. 8 Response of x and θ (Fuzzy)

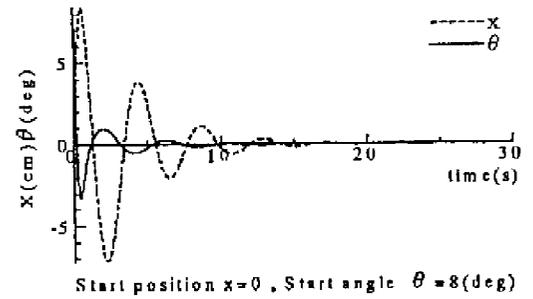


Fig. 9 Response of x and θ (Feedback)

10. おわりに

- フィードバック係数を用いた入力変数の線形結合によりファジィ制御の簡易化を行った。ファジィ制御の応答結果Fig.8より、フィードバック制御の応答結果Fig.9に比べ、同じ初期値に対してファジィ制御の方がやや誤差が残るものの安定した制御結果が得られており、その有効性が確認された。
- フィードバック制御の応答からルールベースを作成したが、まだ完全とはいえない。前件部は同じだが後件部が異なったルールができたり、線形フィードバックを用いているので、0近傍でのルールの信頼度は高いが、それ以外のところでは正確さに欠けたりするからである。

参考文献

- 1) 山川 烈: FUZZY コンピュータの発想, 講談社 (1992)
- 2) 菅野道夫: ファジィ制御, 25/40, 日刊工業新聞社 (1987)