

メンバーシップ関数教示実時間ファジィ制御 システムとその倒立振り子制御への応用

古川万寿夫*・松田孝史**・三浦健史***

The Fuzzy Control System with Teaching of Membership Functions and It's application for inverted pendulum.

Masuo FURUKAWA, Takashi MATSUDA and Takeshi MIURA

This paper shows a fuzzy control system with teaching of membership functions. The membership functions of this fuzzy control system can be tuned by human experts, using graphical man-machine interface of computer.

To verify, we realized this system by personal computer and applied for the control of inverted pendulum.

1. 諸 言

ファジィ推論はファジィ集合を定義するメンバーシップ関数を用いることで、人間の勘や感情などの曖昧とされるデータから結論を推論することができる⁽¹⁾。ファジィ制御は、このファジィ推論を制御の分野に適用することで、より人間に近いやわらかな制御を実現している。実例として、E. H. Mamdaniによるセメントキルンの制御⁽²⁾や安信らによる地下鉄の自動運転⁽³⁾があり、いずれも従来の制御法では不可能であった人間の勘を頼るものであり、ファジィ制御によって好結果を得ている。なぜなら、ファジィ制御は、メンバーシップ関数によりエキスパートのもつ知識を数値化し、これをコンピュータで処理することができるからである。

一方、ファジィ制御の質を左右するメンバーシップ関数を同定する方法はいくつか研究が進められているが、決定的な方法はなく、ほとんどが試行錯誤によって決定されている。そこで、メンバーシップ関数同定の試行を容易にするために、制御を行いながら同時に人間がメンバーシップ関数を教示することのできるシステムを試作した。また、非線形制御の分野において代表的な例である倒立振り子の制御に本システムを応用し、評価を行った。

2. ファジィ制御

ファジィ制御は、ファジィ推論によって制御量を求める制御法である。熟練者が行う手動

* 電気工学科 助手

** 九州工業大学 工学部

*** 京都大学 工学部

原稿受付 平成5年9月30日

制御において、熟練者は過去の豊かな経験によって得た制御規則によって制御を行う。この熟練者による制御は、数式によって明確に制御規則が決められているのではなく、制御対象を五感を用いて観察し大まかな挙動を把握して、非線形な制御規則ともいえる勘によって最も望ましいと思われる制御を行っている。

ファジィ制御は、このような熟練者の持つ制御規則を抽出し制御に用いる。人間のもつ制御規則は言語的に表現されることが多い。すなわち、

「もし圧力が高ければ、温度を下げよ。」

というような言語表現である。このように IF~THEN……の形式により、人間のもつ制御規則を言語化できる。この IF~THEN……形式は、ファジィ推論のファジィ条件命題と一致するため、ファジィ推論によって IF~THEN……形式の制御規則を処理し、制御量を求めることができる。

ファジィ制御では、多重ファジィ推論が用いられる。多重ファジィ推論は次のように導かれる。すなわち、

- 規則 1 : IF $x=A_1$ and $y=B_1$ THEN $Z_1=C_1$
- 規則 2 : IF $x=A_2$ and $y=B_2$ THEN $Z_2=C_2$
- ⋮
- 規則 i : IF $x=A_i$ and $y=B_i$ THEN $Z_i=C_i$
- ⋮
- 規則 n : IF $x=A_n$ and $y=B_n$ THEN $Z_n=C_n$
- 事 実 : $x_0=A'$ $y_0=B'$

結 論 : $Z_0=C'$

ここで、 $A_i, B_i, C_i, A', B', C'$ はファジィ集合である。事実 x_0 と規則 IF $x=A_i$ THEN $Z_i=C_i$ から得られる各規則における推論結果 C_i' は

$$\mu_{C_i'}(z) = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0) \wedge \mu_{C_i}(z)$$

で与えられる。結論 C' は、全規則の or 結合をとり、

$$\mu_{C'} = \mu_{C_1'}(z) \vee \mu_{C_2'}(z) \vee \dots \vee \mu_{C_n'}(z)$$

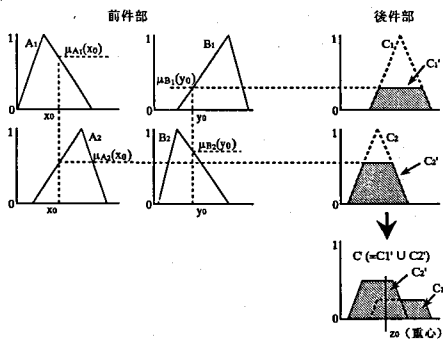


図 1 max-min-重心法によるファジィ推論

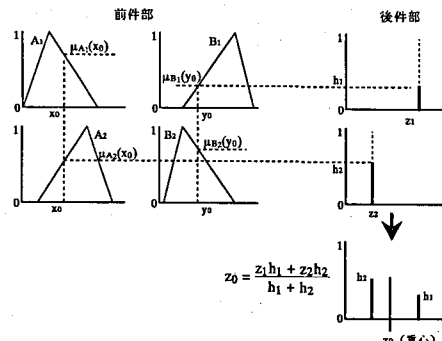


図 2 簡略化推論法によるファジィ推論

となる。この結論 C' はファジィ集合であり、 C' から実際に制御量を求める操作をする必要がある。この操作を非ファジィ化といい、max-min-重心法がよく利用される。この方法は C' の面積重心 Z_0 を求め、この Z_0 を制御量として用いる方法である。max-min-重心法の推論のようすを図1に示す。

3. 簡略化推論法

本研究では、制御の高速化を図るため簡略化推論法⁽⁴⁾⁽⁵⁾を採用した。簡略化推論法はmax-min-重心法の後件部を定数 Z_i としたもので、結論は

$$z_0 = \frac{h_1 z_1 + h_2 z_2 + \dots + h_n z_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n}$$

ただし

$$h_i = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y_0)$$

として得られる。簡略化推論法の結論は、各規則前件部の事実との適合度を荷重とした後件部の荷重平均を計算していることになる。図2に簡略化推論法による推論のようすを示す。

本研究においては簡略化推論を採用し、後件部のメンバーシップ関数をシングルトン（定数）とすることで後件部のメンバーシップ関数の形状指定を容易にしている。

4. メンバーシップ関数実時間教示ファジィ制御システム

本システムの構成を図3に示す。制御対象から得られた測定値をA/D変換器によってコンピュータに入力し、マウスによって教示されるメンバーシップ関数を用いて簡略化推論により制御量を計算する。計算された制御量をD/A変換し制御対象へ出力する。このシステムの特徴は、メンバーシップ関数を教示しながら実時間に制御できることである。

本システムはコンピュータにNEC PC-9801RA21 (CPUおよびFPUにCyrix社製

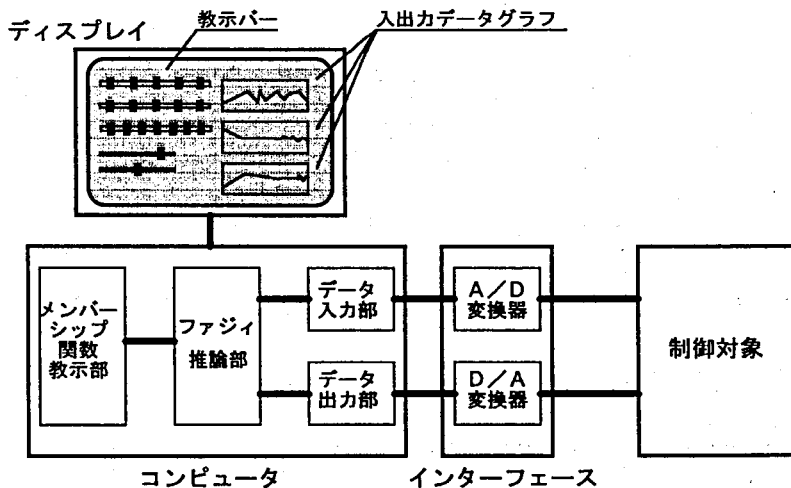


図3 メンバーシップ関数実時間教示ファジィ制御システム

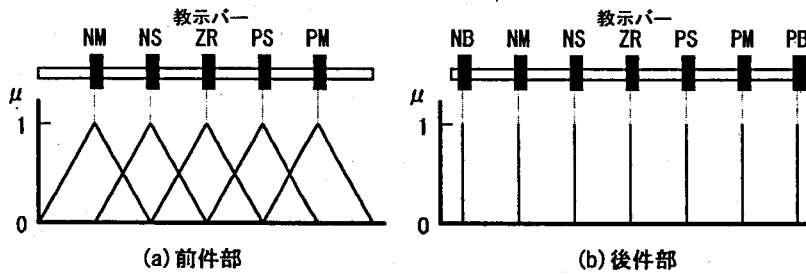


図4 メンバシップ関数と教示バー

CX486DLC および83D87をそれぞれ搭載), ソフトウェア開発に Borland 社 Turbo C++ Ver. 1. 0を用いて試作した。また, 制御対象との入出力を行うため, A/D および D/A 変換インターフェイスをコンピュータに接続した。試作したシステムは2入力1出力の制御が可能で, 推論速度は実測値で1.25kFLIPSである。

メンバシップ関数の形状は前件部を三角型, 後件部をシングルトンとした。教示できるパラメータはメンバシップ関数の頂点の要素方向の位置である。メンバシップ関数の教示は, ディスプレイに表示された教示バーとマウスによって行う。教示バーには, 図4に示すよう, 各メンバシップ関数の頂点の位置に対応する NB, NM, NS, ZR, PS, PM, PB と記されたボックスがあり, このボックスをマウスでクリックしながら水平方向に移動することで, それぞれのメンバシップ関数の頂点パラメータを調整できる。

制御対象から得られた測定値および推論によって得られた制御量の時間に対する変化は, ディスプレイにグラフとして表示する。このグラフによって, 行ったメンバシップ関数の

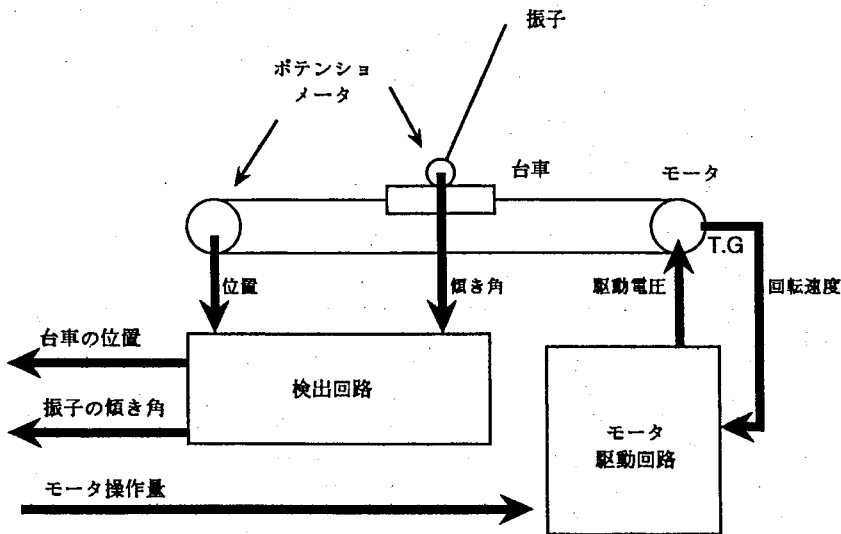


図5 倒立振り子制御系

教示が制御対象にどのように影響したかが観測できる。そのため、メンバーシップ関数の教示は容易である。

5. 倒立振り子の制御への応用

5-1 倒立振り子制御系

本システムを検証するため、倒立振り子を制御対象として選んだ。倒立振り子は、人間が手のひらに棒を立てる状態を機械で模擬したものである。倒立振り子は、構造的に不安定であることから現代制御理論をはじめとした多くの制御理論の有効性検証に用いられている。また、

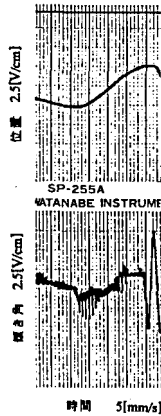
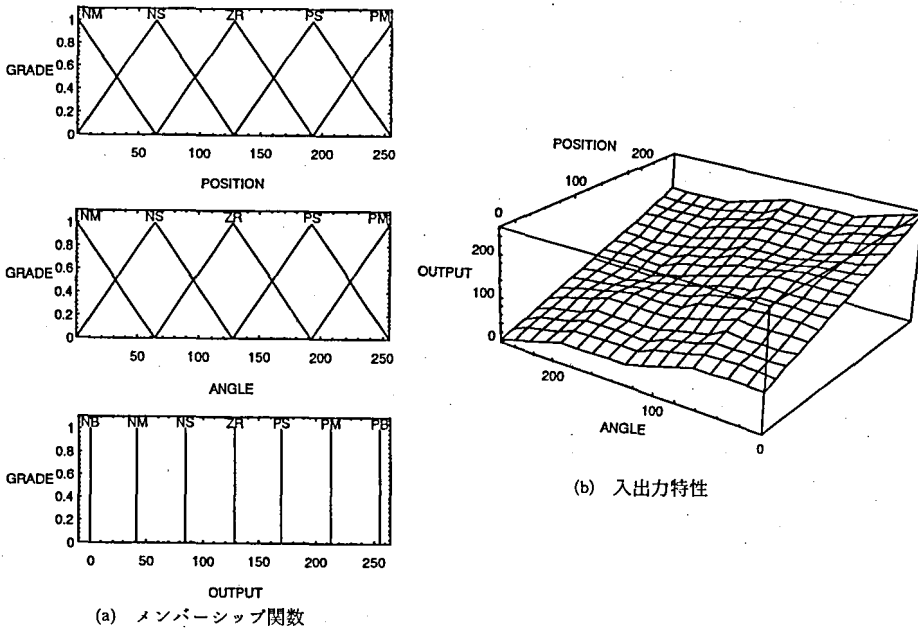
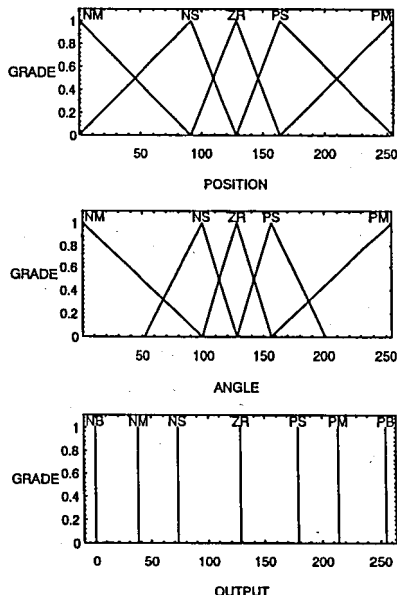


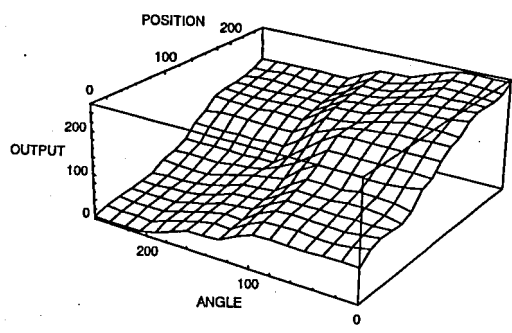
図6 教示前の制御結果

人間が棒を立てるときの知識はファジィルール化が容易であるため、倒立振子はファジィ制御の検証としても有効である。

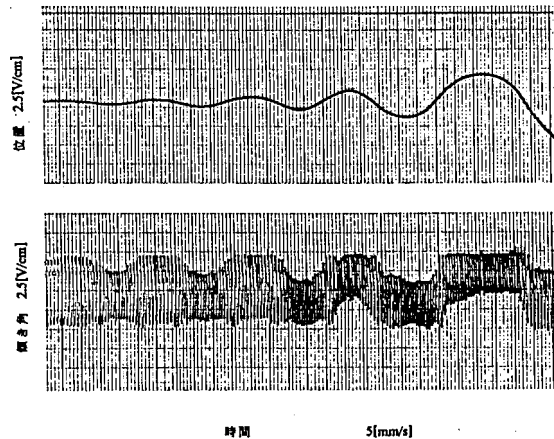
図5に倒立振子制御系のブロック図を示す。振子はDCサーボモータによってプーリおよびワイヤを通じて水平直線方向に駆動される台車に取り付けられている。台車の移動できる距離は130cm、振子の長さは57cmである。台車は四輪車になっていて、タイヤに模型用中空ゴムタイヤを用いているため台車駆動時に揺れが発生する。振子の角度は、振子の根元に取り付けたポテンシオメータによって検出される。また、台車の位置は台車を駆動するワイヤでポテンシオメータを回転させて検出する。倒立振子の制御量は速度とした。コンピュー



(a) メンバシップ関数



(b) 入出力特性



(c) 倒立振子の動き

図7 教示後の制御結果

タによって計算された制御量はモータ駆動回路に入力され台車の速度制御が行われる。

5-2 制御実験および結果

人間が棒を立てるようすを考察して抽出したファジィ制御ルールに従い、メンバーシップ関数空間を均等割りにし、メンバーシップ関数の初期値を図6(a)のように決めた。このメンバーシップ関数を用いて制御実験をした場合の制御平面を図6(b)に、台車の位置と振子の角度の変化結果を図6(c)に示す。制御開始後すぐに振子は倒れてしまったことがわかる。

この初期メンバーシップ関数にマウスを用いてパラメータを図7(a)のように教示した場合の制御平面を図7(b)に、台車の位置と振子の角度の変化結果を図7(c)に示す。台車の位置は徐々に発散し、振子の傾き角は0度に収束していないが、約26秒間直立状態を維持していることがわかる。

このように、教示によってメンバーシップ関数を調整することで、メンバーシップ関数の同定が進められることがわかる。

6. 結 論

メンバーシップ関数の同定を容易にする目的で、メンバーシップ関数教示実時間ファジィ制御システムを試作した。本システムを倒立振子の制御に応用し、メンバーシップ関数を教示しながら実時間制御を行った。その結果、倒立振子を立たせることに成功した。このことより、本システムのメンバーシップ関数の教示方法は、実時間で制御しながらメンバーシップ関数の同定が可能であり、非常に有効なものであるといえる。

参 考 文 献

- (1) L. A. Zadeh: Fuzzy Sets, Information and Control, 8, pp. 338-353 (1965)
- (2) E. H. Mamdani: Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant, Proc. IEE, 121-12, pp. 1585-1588 (1974)
- (3) 安信誠二: ファジィ推論を利用した列車自動運転, 情報処理学会誌, 30, 8, pp. 970-975 (1989)
- (4) 前田幹夫, 村上周太: 自己調整ファジィコントローラ, 計測自動制御学会論文集, 24, 2, pp. 191-197 (1988)
- (5) 水本雅晴: 最近のファジィ制御法, 数理科学, No. 333, pp. 20-26 (1991)