

# ファジィ制御におけるパラメータの最適化に関する研究\*

4D-4

○大坪 亮 山田新一 藤川英司†  
武蔵工業大学‡

## 1 はじめに

複雑な制御対象、動特性の変動する系、制御対象の数学モデルが厳密に分からない系などの制御を行う場合、数学モデルに完全に依存しない制御法の採用が望まれる。その制御法としてファジィ制御<sup>[1]</sup>がある。ファジィ制御系の設計には大きく分けて言語的制御規則（ファジィルール）とパラメータ（メンバシップ関数）のチューニングがある。

本研究では、遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm）<sup>[2]</sup>によってメンバシップ関数の自動チューニングを行い、2種類のチューニング法を比較をする。応用例として、二重振り子を持つ、天井走行クレーン<sup>[3],[4]</sup>を採用した。この荷を二重振り子とする天井走行クレーンは製鉄所で液状の鉄や、棒状の長い物体の搬送に応用できる。このモデルを用いて、振れ止め及び、位置決め制御に関する有効性を示す。

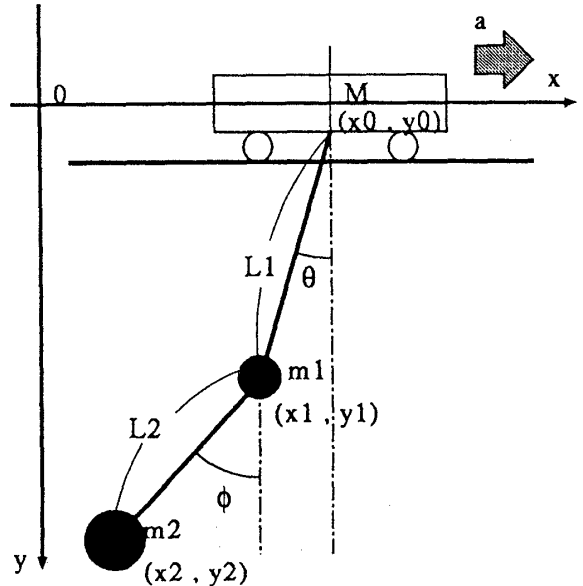


図1: クレーンモデル

## 2 クレーンモデル

制御対象に選んだクレーンモデルについて説明する。簡易モデルを図1に示す。

クレーンモデルを数式で表す。系の運動エネルギー、ポテンシャルエネルギーよりラグランジュ方程式を解き、さらに、制御入力  $f[N] = Ma$ , 荷の慣性モーメント  $I$ , 動摩擦係数  $c_0 \sim c_2$  を加えると、

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{L_1} \cos \theta \cdot \ddot{x}_0 - \frac{m_2 L_2}{(m_1 + m_2) L_1} \{ \sin(\theta - \phi) \cdot \dot{\phi}^2 + \cos(\theta - \phi) \cdot \ddot{\phi} - c_1 \dot{\theta} \} - \frac{g}{L_1} \sin \theta \quad (1)$$

$$\ddot{\phi} = \frac{1}{m_2 L_2^2 + I} \{ -m_2 L_2 \cos \phi \cdot \ddot{x}_0 + m_2 L_1 L_2 \sin(\theta - \phi) \cdot \dot{\theta}^2 - m_2 L_1 L_2 \cos(\theta - \phi) \cdot \ddot{\theta} - m_2 g L_2 \sin \phi - c_2 \dot{\phi} \} \quad (2)$$

$$\ddot{x}_0 = \frac{1}{M + m_1 + m_2} \{ -(m_1 + m_2) L_1 \sin \theta \cdot \dot{\theta}^2 + (m_1 + m_2) L_1 \cos \theta \cdot \ddot{\theta} - m_2 L_2 \sin \phi \cdot \dot{\phi}^2 + m_2 L_2 \cos \phi \cdot \ddot{\phi} + f \} - \frac{1}{M + m_1 + m_2} c_0 \dot{x}_0 \quad (3)$$

となる。

\*A study of optimization of Fuzzy Controller's parameters  
†Ryo Ohtsubo Shin-ichi Yamada Hideji Fujikawa  
‡Musashi Institute of Technology

クレーンのトロリーの加速度を制御し、ロープと荷の振れを止め、かつトロリーを目標値に停止させることを目的とする。運動方程式から明かなようにロープの振れ角  $\theta$  と荷の振れ角  $\phi$  は干渉しあう。そこで、ファジィ制御器を用いて最適な制御を行う。

## 3 ファジィ制御器

### 3.1 ファジィ制御器の設計

ファジィ制御器の設計はエキスパートの知識をもとに IF~THEN...形式のルールとメンバシップ関数を決定する。メンバシップ関数の設定は試行錯誤しながら決定することが多く、自動チューニングが望まれる。そこで本研究では、メンバシップ関数のチューニングを行なう学習機構に Genetic Algorithm を用い、メンバシップ関数の最適化を行う。

入力としてロープの振れ角  $\theta$  [deg] と  $\dot{\theta}$  [deg/sec], 荷の振れ角  $\phi$  [deg] と  $\dot{\phi}$  [deg/sec], トロリーの位置と目標位置の差  $x_{error}$  [m],  $x_{error}$  から決定される目標速度とトロリーの実際速度差  $v_{error}$  [m/sec] の6個のパラメー

タとし、出力はトロリーの加速度  $a[m/sec^2]$  とする。

目標値と操作量、出力値を調整機構に集め、評価関数をもとに、より最適なメンバシップ関数を決定する。また、ファジールールは試行錯誤により決定した。

3.2 メンバシップ関数のチューニング

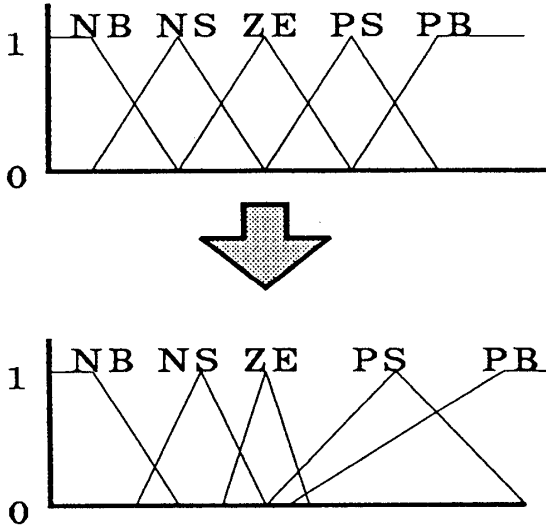


図 2: チューニング法 1

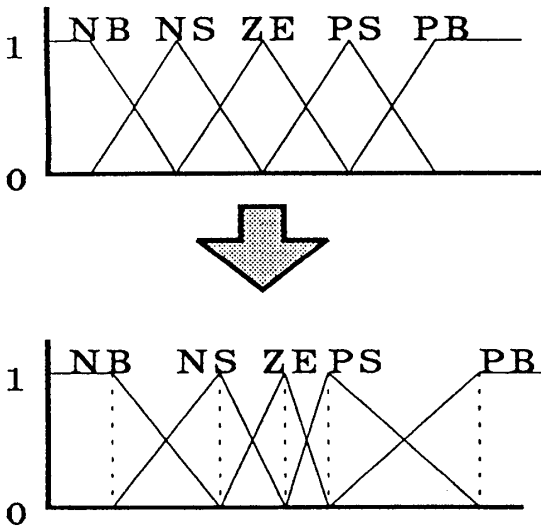


図 3: チューニング法 2

メンバシップ関数のチューニング法には、今まで数多く提案されている。本研究では、メンバシップ関数を三角型とし、図 2 と図 3 に示す 2 種類のチューニング法の有効性を比較する。

チューニング法 1 はメンバシップ関数の端点を独立変数として GA の調整パラメータとする。1 個のメンバシップ関数に対して 2 個の変数が決定すると、2 等辺三角形の底辺の長ささが決定し、関数の形状が決ま

る。隣の関数と入れ替わらないようにペナルティ関数を GA の評価関数に入れ、メンバシップ関数全体の秩序を守ることにする。

チューニング法 2<sup>[3]</sup> は、5 分割のメンバシップ関数であれば 5 個の独立変数により構成され、隣の関数と適合度が 0.5 で交わるように、チューニングを行う方法である。

3.3 制御器の評価

クレーンの制御目的から任意の速度に追従しながら振れ止めを行うことと、目標位置に停止させることが要求される。そこで、前者の価関数を

$$f(\theta, \phi, v_{error}) = \int (k_1|\theta| + k_2|\phi| + k_3|v_{error}|) dt \quad (4)$$

ただし、 $k_1, k_2, k_3$ : 重み定数

と定める。

停止位置精度は、 $\pm 10.0[cm]$  以内とし、逆走した場合はペナルティ関数を定め、できるだけ逆走しないようにする。

4 おわりに

GA を使ってチューニング法 1, 2 を用いてメンバシップ関数をチューニングした時の制御結果を比較すると、チューニング法 1 の方が良い結果が得られた。これはチューニング法 1 の方が自由度が高いため、自動チューニングに向いていると考えられる。しかし、ファジィ制御の特徴である制御内容がわかりやすいという点では、チューニング法 2 の方が優れている。

現在、荷の形状が変化すると不安定になりやすいので、荷の形状や質量が変化してもある程度制御できるような制御器の設計が望まれる。

参考文献

[1] 菅野: "ファジィ制御", 日刊工業新聞社 (1988).  
 [2] 北野: "遺伝的アルゴリズム", 産業図書 (1993).  
 [3] 渡辺, 市橋: "n 次メンバシップ関数を用いた逐次ファジィモデリングとそのクレーン制御への応用", 日本ファジィ学会誌, Vol.3, No.2, pp.347-356, 1991.  
 [4] 伊藤, 右田, 入江, 伊藤: "クレーン自動運転へのファジィ制御の適用", 日本ファジィ学会誌, Vol.6, No.2, pp.402-411, 1994.