

# ファジィ知識設計エキスパートシステムにおける 5F-10 自動ファジィモデリング機能の検討

梶谷雄治 片山 立 松本健志 渡辺雅英 西田行輝  
三洋電機(株) 情報通信システム研究所

## 1. はじめに

ファジィ推論を用いたプラントや機器運転の制御を行うにはファジィ知識(メンバーシップ関数やファジィルール)が必要となってくる。従来、これらファジィ知識の作成は人手に依存する部分がほとんどであり、また、作成したファジィ知識を実装するにはチューニング作業が不可欠となっている。このような状況の中で我々はファジィ知識設計者の負担を軽減するために

- 静的モデルに対する自動ファジィモデリング技術
- 動的モデルに対する自動チューニング技術<sup>[1]</sup>

の検討を行っている。本稿では、このうち静的モデルに対する自動ファジィモデリング機能について検討した結果を述べる。

## 2. システム構成

図1にシステム構成図を示す。我々はすでにファジィ開発支援システム<sup>[2]</sup>を構築しているが、最終的にはこれにファジィ知識の自動獲得機能を統合したファジィ知識設計エキスパートシステムの実現を目指している。

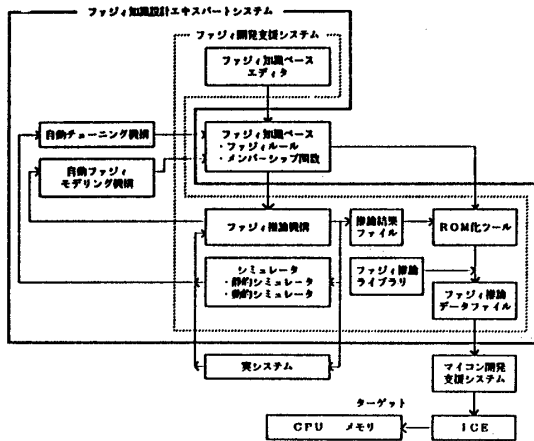


図1. システム構成図

## 3. 自動ファジィモデリングに必要な機能

自動ファジィモデリング機構は、前もって収集されているシステム(モデリング対象)の入出力データから、その入出力関係を最もよく近似するファジィモデ

ル(ファジィ知識)を生成する機構で、モデリングの手法としては種々のものが提案されている。

- ①ファジィルールの前件部変数はシンプレックス法で後件部変数は回帰分析手法を用いる<sup>[3]</sup>。
- ②ファジィルールの前件部/後件部変数ともにシンプレックス法を用いる<sup>[4]</sup>。
- ③ファジィルールの前件部/後件部変数ともにニューラルネットを用いる<sup>[4]</sup>。
- ④ファジィルールの前件部/後件部変数ともに勾配法(最急降下法)を用いる<sup>[5]</sup>。

これらの手法のうち我々は計算効率の面から④の勾配法を用いたモデリング手法に注目し実験を行っている。ファジィ推論方法としては後件部を実数値に簡略化したファジィ推論を用い、ルール前件部のメンバーシップ関数形状は三角形で、隣接するメンバーシップ関数とグレード値0.5で交差するよう設定している。学習則はn番目の入出力データを $(x_n^1, x_n^2, \dots, y_n)$ とすると次式ようになる。

$$w_m(t+1) = w_m(t) + \alpha \cdot (y_n - y) \cdot \frac{\mu_m}{\sum_{i=1}^k \mu_i} \quad (1)$$

(1)式は、t回目のファジィ推論結果からt+1回目のファジィ推論を行う前に後件部実数値をチューニングする学習則で、 $w_m$ はm番目のファジィルールの後件部実数値、 $y$ はt回目のファジィ推論による出力結果、 $\mu_m$ はm番目のファジィルールの成立度、 $\sum_{i=1}^k \mu_i$ はファジィルール成立度の総和(総ファジィルール数はk個)、 $\alpha$ は学習係数である。実験に用いた入出力データを表1に示す。1~20番をモデリング用データに用い21~40番を評価用データに用いた。評価関数としては次式の誤差2乗和を用いている。

$$\frac{1}{2} \sum_{n=1}^d (y_n^r - y_n)^2 \quad (2)$$

ここで、dはデータ数、 $y_n^r$ はn番目の出力データ値、 $y_n$ はn番目の入力データを用いたファジィ推論結果である。実験結果を図2、表2に示す。

表1. 入出力データ

| 番号 | 入力データ |                |                |                | 出力データ          | 番号 | 入力データ |    |                |                | 出力データ          |
|----|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|-------|----|----------------|----------------|----------------|
|    | No    | x <sub>1</sub> | x <sub>2</sub> | x <sub>3</sub> | x <sub>4</sub> |    | y     | No | x <sub>1</sub> | x <sub>2</sub> | x <sub>3</sub> |
| 1  | 1     | 3              | 1              | 1              | 11.110         | 21 | 1     | 1  | 5              | 1              | 9.545          |
| 2  | 1     | 5              | 2              | 1              | 6.521          | 22 | 1     | 3  | 4              | 1              | 6.043          |
| 3  | 1     | 1              | 3              | 5              | 10.190         | 23 | 1     | 5  | 3              | 5              | 5.724          |
| 4  | 1     | 5              | 4              | 5              | 6.043          | 24 | 1     | 1  | 2              | 5              | 11.250         |
| 5  | 1     | 5              | 5              | 1              | 5.242          | 25 | 1     | 3  | 1              | 1              | 11.110         |
| 6  | 5     | 1              | 4              | 1              | 19.020         | 26 | 5     | 5  | 2              | 1              | 14.360         |
| 7  | 5     | 3              | 3              | 5              | 14.150         | 27 | 5     | 1  | 3              | 5              | 19.610         |
| 8  | 5     | 5              | 2              | 5              | 14.360         | 28 | 5     | 3  | 4              | 5              | 13.650         |
| 9  | 5     | 5              | 1              | 1              | 27.420         | 29 | 5     | 5  | 5              | 1              | 12.430         |
| 10 | 5     | 3              | 2              | 1              | 15.390         | 30 | 5     | 1  | 4              | 1              | 19.020         |
| 11 | 1     | 5              | 3              | 5              | 5.724          | 31 | 1     | 3  | 3              | 5              | 6.380          |
| 12 | 1     | 1              | 4              | 5              | 9.766          | 32 | 1     | 5  | 2              | 5              | 6.521          |
| 13 | 1     | 3              | 5              | 1              | 5.870          | 33 | 1     | 1  | 1              | 1              | 16.000         |
| 14 | 1     | 5              | 4              | 1              | 5.406          | 34 | 1     | 3  | 2              | 1              | 7.219          |
| 15 | 1     | 1              | 3              | 5              | 10.190         | 35 | 1     | 5  | 3              | 5              | 5.724          |
| 16 | 5     | 3              | 2              | 5              | 15.390         | 36 | 5     | 1  | 4              | 5              | 19.020         |
| 17 | 5     | 5              | 1              | 1              | 19.680         | 37 | 5     | 3  | 5              | 1              | 13.390         |
| 18 | 5     | 1              | 2              | 1              | 21.060         | 38 | 5     | 5  | 4              | 1              | 12.680         |
| 19 | 5     | 3              | 3              | 5              | 14.150         | 39 | 5     | 1  | 3              | 5              | 19.610         |
| 20 | 5     | 5              | 4              | 5              | 12.680         | 40 | 5     | 3  | 2              | 5              | 15.390         |

表2. 評価用データとファジィ推論出力の比較

| 番号            | 入力データ |                |                |                | 出力データ          | ファジィ推論出力 ( $\alpha = 1.0$ ) |         |         |         |
|---------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|---------|---------|---------|
|               | No    | x <sub>1</sub> | x <sub>2</sub> | x <sub>3</sub> | x <sub>4</sub> | y                           | M関数=2   | M関数=3   | M関数=4   |
| 21            | 1     | 1              | 5              | 1              | 9.545          | 6.505                       | 16.331  | 16.331  | 16.331  |
| 22            | 1     | 3              | 4              | 1              | 6.043          | 7.182                       | 11.101  | 13.716  | 16.331  |
| 23            | 1     | 5              | 3              | 5              | 5.724          | 5.545                       | 5.724   | 5.724   | 5.724   |
| 24            | 1     | 1              | 2              | 5              | 11.250         | 10.888                      | 13.261  | 13.328  | 16.331  |
| 25            | 1     | 3              | 1              | 1              | 11.110         | 11.106                      | 11.110  | 11.110  | 11.110  |
| 26            | 5     | 5              | 2              | 1              | 14.360         | 16.071                      | 18.006  | 17.168  | 16.331  |
| 27            | 5     | 1              | 3              | 5              | 19.610         | 15.075                      | 16.331  | 16.331  | 16.331  |
| 28            | 5     | 3              | 4              | 5              | 13.650         | 13.515                      | 15.241  | 14.159  | 16.331  |
| 29            | 5     | 5              | 5              | 1              | 12.430         | 5.242                       | 16.331  | 16.331  | 16.331  |
| 30            | 5     | 1              | 4              | 1              | 19.020         | 17.501                      | 18.948  | 19.020  | 19.020  |
| 31            | 1     | 3              | 3              | 5              | 6.380          | 7.868                       | 6.043   | 10.787  | 16.331  |
| 32            | 1     | 5              | 2              | 5              | 6.521          | 5.607                       | 11.028  | 8.376   | 16.331  |
| 33            | 1     | 1              | 1              | 1              | 16.000         | 15.374                      | 16.331  | 16.331  | 16.331  |
| 34            | 1     | 3              | 2              | 1              | 7.219          | 9.798                       | 13.721  | 15.026  | 16.331  |
| 35            | 1     | 5              | 3              | 5              | 5.724          | 5.545                       | 5.724   | 5.724   | 5.724   |
| 36            | 5     | 1              | 4              | 5              | 19.020         | 14.386                      | 16.331  | 16.331  | 16.331  |
| 37            | 5     | 3              | 5              | 1              | 13.390         | 10.288                      | 16.331  | 16.331  | 16.331  |
| 38            | 5     | 5              | 4              | 1              | 12.680         | 8.852                       | 16.331  | 16.331  | 16.331  |
| 39            | 5     | 1              | 3              | 5              | 19.610         | 15.075                      | 16.331  | 16.331  | 16.331  |
| 40            | 5     | 3              | 2              | 5              | 15.390         | 15.125                      | 15.390  | 15.369  | 15.390  |
| 出力データyとの誤差2乗和 |       |                |                |                |                | 82.352                      | 110.114 | 133.615 | 266.555 |

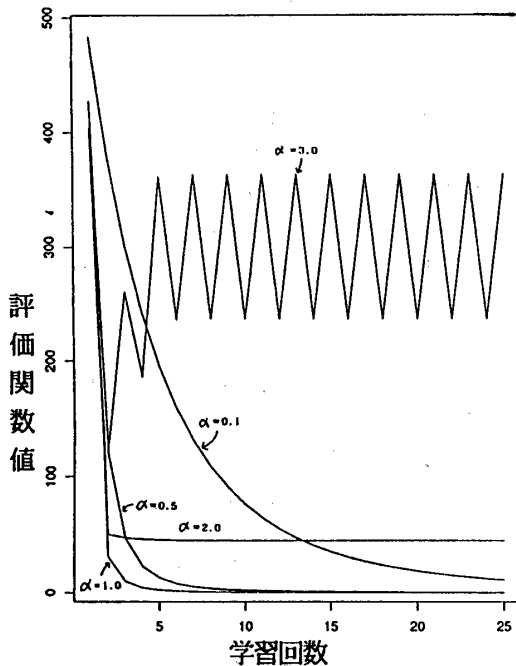


図2. ファジィ分割3の場合の評価関数値

図2は(1)式の学習係数 $\alpha$ の値を変化させた場合の(2)式の評価関数値の変化を表したもので、適切な学習係数を選択しないと学習時間の増大や振動などの問題が出てくる。また、表2は前件部変数のファジィ分割数を変化させた時の評価用データを用いた評価関数値の結果である。この表からファジィ分割を多くし過ぎた場合にはモデリングに用いたデータの特徴を捕らえ過ぎ、他のデータに対して柔軟性を欠いたファジィモデルが生成されていることがわかる。これらの結果から自動ファジィモデリング機構に必要な機能として、

①適切な学習係数値を導出する機能

②適切なファジィ分割数を導出する機能

が考えられる。①に関しては学習係数値を動的に変化させ適切な学習係数を導出する適応型の学習係数導出機能を、②に関してはGMDH法などで使われている不偏性規範UCやAICなどの規範を最小にするファジィ分割数導出機能を検討している。また、熟練者の

言語的ノウハウを表現できるファジィ推論の特徴を生かし、あらかじめ定性的ノウハウをルールで記述しておき(ルール構造を設定しておき)、チューニングをファジィモデリング機能を用いて自動的に行うような対話的なアプローチも有効と考えられる。

4. その他の機能

ファジィ知識設計エキスパートシステムに必要な機能として、次のようなものが考えられる。

- ①構築されたファジィ知識のモデル近似精度提示機能
- ②構築されたファジィ知識に必要な記憶容量提示機能
- ③推論速度提示機能

①~③は一般にトレードオフの関係にあると考えられるので、これらを多目的計画問題としてとらえ、非劣解集合を設計者に提示しながら対話的に最適解を求める方法などを検討している。

5. おわりに

ファジィ知識設計エキスパートシステムにおける自動ファジィモデリング機能の検討を行った。これらの機能を構築し、自動ファジィモデリング機構を開発することによってファジィ知識の設計の効率化が期待できる。今後は各機能の詳細な評価および共役勾配法や準ニュートン法による学習則の検討を行っていくとともにこれらの機能をファジィ知識設計エキスパートシステムに組み込んでいく予定である。

参考文献

- [1]片山, 他: 関西支部連合大会講演文集"階層的なファジィ推論機構にもとづくファジィ制御の自動チューニング法", 電気関係学会, 1990
- [2]梶谷, 他: 情報処理学会第41回全国大会講演文集"ファジィ推論支援システム", 情報処理学会, 1990
- [3]菅野: ファジィ制御, 日刊工業新聞社, 1988
- [4]赤堀: システムと制御チャートリアル講座'89:P179~190, システムと制御情報学会, 1989
- [5]野村, 他: 第6回ファジィシステムシンポジウム講演文集"最急降下法によるファジィ推論の自動チューニングと解空間の応用(P423~426)", 日本ファジィ学会, 1990