

## ファジィプロダクションルールにおける 結合子のニューラルネットによるチューニング

1H-3

三好 力、田野 俊一、加藤 康記、Thierry Arnould

国際ファジィ工学研究所

### 1. はじめに

プロダクションルールの条件部は、一般に複数の条件で構成され、各条件のマッチ度から結合子を用いて条件部全体のマッチ度を計算する。一般のプロダクションシステムでは、マッチ度はクリスプな値を取るため、結合子として論理演算子の  $\text{and}$ 、 $\text{or}$  を用いている。

ファジィプロダクションルールで、条件部全体のマッチ度としてあいまいな値を許す場合、1) 各条件のマッチ度のファジィ化、2) 結合子の拡張などが考えられる。1) に関してはメンバシップ関数を用いるなど既に多くの研究がなされている。2) に関しては、現在ある大部分のシステムが  $\text{min}$ 、 $\text{max}$  を利用しており、演算子の拡張に関する研究は少ない。

本論文では、演算子としてパラメータによって性質が変化する  $T$ -norm (And 演算子に対応する)、 $T$ -conorm (Or 演算子に対応する) を採用し、演算子の自動チューニングの方法を検討した。

### 2. プロダクションルール

プロダクションルールをファジィ工学的な手法を用いて拡張する事を考える。プロダクションルールにあいまいな記述を導入することでルールの数を減し、保守性を向上させることが期待される。さらに、想定されなかった入力があった場合、近似推論により、近似解を得ることができる可能性が生ずる。

ファジィプロダクションルールを処理するため、プロダクションシステムは 1) 前件部の各条件に対するマッチの度合い、2) 前件部全体に対するマッチの度合い、3) 前件部のマッチの度合いを後件部に反映させる方法(インプリケーション)等の拡張が考えられる。

#### 2.1. メンバシップ関数

前件部の各条件にメンバシップ関数を導入することで、条件をファジィ化することができる。マッチ度は  $(0, 1)$  から  $[0, 1]$  内の実数や区間に拡張される。

#### 2.2. 演算子

前件部全体のマッチ度は各条件を結合演算子に

よって結合することで得られる。大部分のシステムは演算子として  $\text{and}$ 、 $\text{or}$  もしくは  $\text{min}$ 、 $\text{max}$  を利用している。表現する知識に応じて、各条件間の関係を表す演算子を選択することで適切なマッチ度を得ることが期待される。

#### 2.3. インプリケーション

インプリケーションは前件部と後件部の関係を表している。適切な関係を選択することでより良い結果を得ることが期待される。

### 3. チューニング

メンバシップ関数のチューニングに関しては、ニューラルネットを利用する研究が数多く行われている [1]-[2]。しかし、各条件間に複雑な関係がある場合、メンバシップ関数のチューニングではこれを吸収することができない。さらに、あるルール群で条件間の関係に一定の性質がある場合、一つのルールで演算子のチューニングを行うと、そのルール群全体のチューニングの効率が向上する事が期待される。しかし、演算子やインプリケーションに関する研究はあまり見られない。

この様な状況認識のもと、今回はまず、演算子のチューニングに関する検討をおこなった。

Gupta は、演算子として異なる種類の  $T$ -norm、 $T$ -conorm を利用すると、ファジィコントローラの制御性が変化することを示した [3]。そこで、パラメータによって性質が変化する  $T$ -norm、 $T$ -conorm [4] を用い、ファジィシステムをバックプロパゲーションを用いてチューニングする方法を検討した。

### 4. ファジィコントローラ

ルールの前件部がエラー ( $e$ ) とエラーの変化 ( $de$ )、後件部が制御信号 ( $du$ ) からなるファジィコントローラを考える。N個のルールがある場合、ルール全体のファジィ関係はそれぞれのルールを  $T$ -conorm で結合したものとす。インプリケーションとしてマムダニのインプリケーションを採用した。

今、ファジィルールとして以下の4つを与える。

If  $e$  is negative and  $de$  is negative, then  $du$  is negative,

If  $e$  is negative and  $de$  is positive, then  $du$  is zero,

If  $e$  is positive and  $de$  is negative, then  $du$  is zero,

If  $e$  is positive and  $de$  is positive, then  $du$  is positive.

ここで、negative、positive、zero はメンバシップ関数である。実際に入力  $e(n)$ 、 $de(n)$  はクリスプな値となるので、 $dU'$  は以下の式となる。

Ooperator Tuning in Fuzzy Production Rules Using Neural Networks

MIYOSHI Tsutomu, TANO Shun'ichi, KATO Yasunori,  
Thierry Arnould

Laboratory for International Fuzzy Engineering Research.

$$\mu_{du}(du) = T^* \left[ T \left[ \mu_{NE}(e), \mu_{NdE}(de), \mu_{NdU}(du) \right], \right. \\ \left. T \left[ \mu_{PE}(e), \mu_{PdE}(de), \mu_{PdU}(du) \right], \right. \\ \left. T \left[ \mu_{PE}(e), \mu_{NdE}(de), \mu_{ZdU}(du) \right], \right. \\ \left. T \left[ \mu_{PE}(e), \mu_{PdE}(de), \mu_{PdU}(du) \right] \right]$$

du(n) は dU から重心法を用いて計算する。以上のファジィコントローラをネットワークで表現したものを図1に示す。ただし、下図においてTはT-normを、T\*はT-conormを示し、太い線はメンバシップ関数を表している。

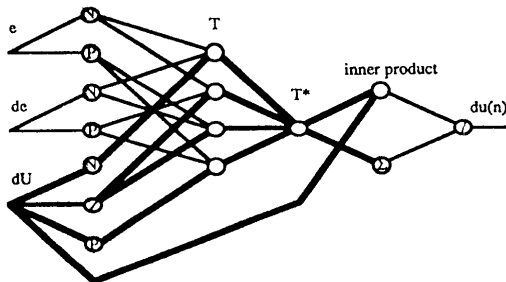


図1: ファジィコントローラのネットワーク

本研究では図1の内、T及びT\*の学習を行う。

5. システム構成

システムはファジィコントローラとプラントの2つのネットワークから構成される。プラントネットワークは予め対象となるプラントに対する学習を完了しているものとし、内部パラメータは固定として扱う。システムの概要を図2に示す。

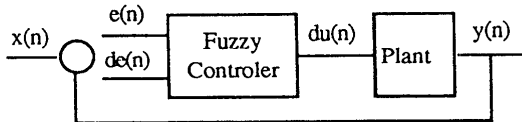


図2: システム概要

評価関数として誤差Eをとる。

$$E = \sum_i \frac{1}{2} (x - y)^2$$

図1の内、チューニングに関連する部分を取り出したのが図3である。

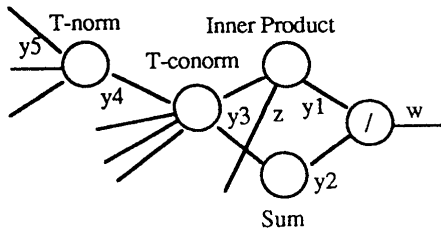


図3: 対象ネットワーク

各ノードの出力を w および y1 から y5 とすると、

$$w = \frac{y_1}{y_2} \\ y_1 = \sum_z z \cdot y_3 \\ y_2 = \sum_z y_3 \\ y_3 = T^*(tcp, y_4, \dots) \\ y_4 = T(tp, y_5, \dots)$$

各出力のそれぞれ一つ前の出力での微分が計算できる。それらを用いて以下の式が得られる。

$$\frac{dE}{dtcp} = \frac{dE}{dy} \frac{dy}{du} \frac{du}{dw} \left( \frac{dw}{dy_1} \frac{dy_1}{dy_3} + \frac{dw}{dy_2} \frac{dy_2}{dy_3} \right) \frac{dy_3}{dtcp}$$

$$\frac{dE}{dtp} = \frac{dE}{dy} \frac{dy}{du} \frac{du}{dw} \left( \frac{dw}{dy_1} \frac{dy_1}{dy_3} + \frac{dw}{dy_2} \frac{dy_2}{dy_3} \right) \frac{dy_3}{dy_4} \frac{dy_4}{dtp}$$

ただし、yのuでの微分は、プラントを表すネットワークをたどることによって得ることができる。

これにより、微分可能なT-norm、T-conormを用いることでパラメータの自動チューニングが可能となる。

7. おわりに

ファジィコントローラ単独で学習を行おうとすると、教師信号をどの様に獲得するかが大きな問題となる。そこで、まず対象となるプラントをニューラルネットワークを用いて学習させる。次に、そのネットワークのパラメータを固定し、バックプロパゲーションによってプラントの入力に対する誤差の変化を伝達する。これによってファジィコントローラの入力とプラントの出力からチューニングを行うことが可能となる。

チューニングを行うに当たっては、T-norm、T-conormのみならずその微分の性質が重要である。パラメータ値のチューニングとともに、その導関数に関する研究が必要である。

メンバシップ関数と演算子のチューニングの解釈、インプリケーションまで含めたファジィプロダクションルールのチューニング等に関して今後検討を行う。

参考文献

[1] 前田 章、染谷 隆子、船橋 誠寿: "ファジィ推論におけるメンバシップ関数の高速学習方法について", 情報処理学会研究報告、マイクロコンピュータとワークステーション, 66-5 (1991).  
 [2] 堀川 慎一、古橋 武、内川 寿樹: "ファジィニューラルネットワークの構成法 (III)", 7th Fuzzy System Symposium, F5-2 (1991).  
 [3] M.M.Gupta and J.Qi, "Design of fuzzy logic controllers based on generalized T-perators", Fuzzy Sets and Systems, 40, pp 473-489 (1991).  
 [4] 水本 雅晴: "ファジィ集合とファジィ理論", 3rd Fuzzy System Symposium, pp. 37-48 (1987).