

ニューロ・ファジィ融合システムの試作

川村旭 渡部信雄 大和田有理 益岡竜介 浅川和雄
(株) 富士通研究所

はじめに

我々は、ファジィの解かり易さで、ニューロの精度や学習能力を利用することができるニューロファジィ融合システムを提案し^{1,2)}、現在、試作を行っている。

ファジィ制御のシステムに於ては、制御対象の専門家の持つ「もし温度が高ければ、燃料供給を少なくする」等の制御規則の中のあいまいな言葉（命題）の意味をメンバシップ関数の形で定量化したファジィルールを用いて制御を行なう。ファジィ制御は、少ないルール数で実現できるので、初期開発期間が短いという特長がある。しかし、制御の精度を上げるためのメンバシップ関数やルールの調節・変更が困難である。この問題をニューラルネットワークの学習機能を用いて解決することを考える。

また逆に、そのままでは理解し難いニューラルネットワークの内部動作を、ファジィモデルの枠組で解釈することによって、説明することを考える。

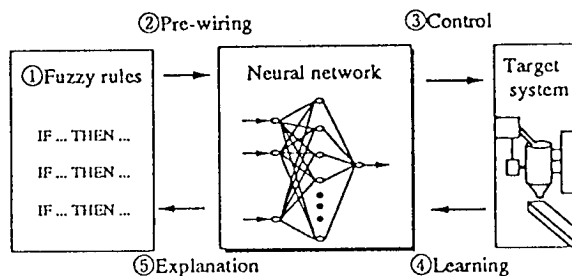


Fig.1 Overview of the Neurofuzzy System

システムの概要

本研究で提案するニューロ・ファジィ融合システムの概要は以下の通りである。

[図1参照]

- ①制御対象の専門家の勘や経験やノウハウ等を含む知識を、メンバシップ関数とルールの形式で抽出し、ファジィモデルを作成する。
- ②作成されたファジィモデルに従い、ニューラルネットワークのプリワイヤを行う。即ちニューロン間の結合や重み値を設定してニューラルネットワークを構築する。
- ③プリワイヤによって構築されたニューラルネットワークを、実際の制御対象に適用する。
- ④制御対象に付けられたセンサ等から、動作中に学習用のデータを得て、ニューラルネットワークにそれらを学習させることにより、制御の精度の向上を図る。
- ⑤学習を行ったニューラルネットワークの結合状態や重み値を、ファジィモデルのメンバシップ関数やルールに対応付けて解釈することにより、ニューラルネットワークの内部動作を説明する。

適用例

簡単な問題について本システムを適用した例に即して、システムの各ステップについての説明を行う。

例題

制御対象が、図2に示す入出力関係を持っている場合を考える。

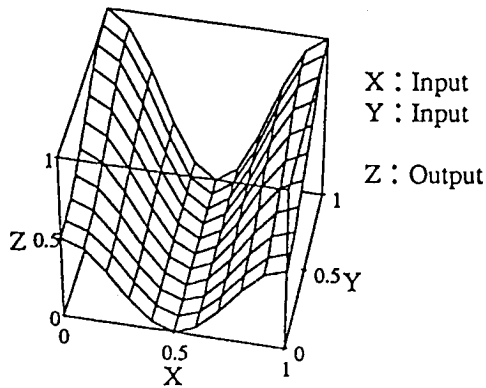


Fig.2 Input/Output relationship of the target system

①ファジィモデルの作成

図2の入出力関係をモデル化するために、採用したルールを図3に示す。このルールは入力変数X, Yの値の取り得る範囲を、おおまかに5つの領域に分けて、その領域に於ける出力変数Zのおおまかな値を述べたものである。

また、採用したメンバシップ関数の内、入力変数Xに関するメンバシップ関数を図4に示す。ここで、横軸は入力変数Xであり、縦軸はメンバシップ関数のグレード値である。

以上のように作成した、ファジィモデルの入出力関係は図5のようになる。図2の制御対象の入出力関係のグラフと見比べると、中央付近に外れが生じているが、おおまかな特徴は捉えられていることが判る。

②プリワイヤ

作成されたファジィルールに従い、プリワイヤによって構築した構造化ニューラルネットワークを図6に示す。ここで、丸印はニューロンを表しており、●はシグモイド関数ニューロンを○は線形関数ニューロンを表す。

この構造化ニューラルネットワークに於ては、ファジィモデルとの間に以下の対応関係が有る。

- ・ 3層目のニューロンは、入力変数のメンバシップ関数に対応している。
- ・ 4層目のニューロンは、ルールに対応している。
- ・ 5層目のニューロンは、出力変数のメンバシップ関数に対応している。

プリワイヤの手続きは以下の通りである。

ルールについては、例えば、rule1: if (X is small) and (Y is small) then Z is middle に従って4層目のrule1に対応するニューロンと3層目のX is smallとY is smallに対応するニューロンとを結合させ、かつ、4層目のrule1に対応するニューロンと5層目のZ is middleに対応するニューロンとを結合させる。[図6参照]

メンバシップ関数については、例えば、入力変数Xのメンバシップ関数に従って、図7に示した構造を構成する。ここで、結線の傍の数値は重み値を、ニューロンを示す丸印の中の数値はしきい値を示している。small, bigのように単調減少、単調増加するメンバシップ関数については、1個のニューロンのシグモイド関数を利用して実現する。middleのような山形のメンバシップ関数については、2個のニューロンを用い、2つのシグモイド関数の差によって実現する。

③制御への適用

図8にプリワイヤによって構成されたニューラルネットワークの入出力関係を示す。もともなったファジィモデルの入出力関係と同様に、細部については、制御対象の入出力関係から外れているところがあるが、おおまかな特徴は捉えている。

rule1 : if (X is small) and (Y is small) then Z is middle
 rule2 : if (X is small) and (Y is big) then Z is big
 rule3 : if (X is middle) then Z is small
 rule4 : if (X is big) and (Y is small) then Z is middle
 rule5 : if (X is big) and (Y is big) then Z is big

Fig.3 Fuzzy rules

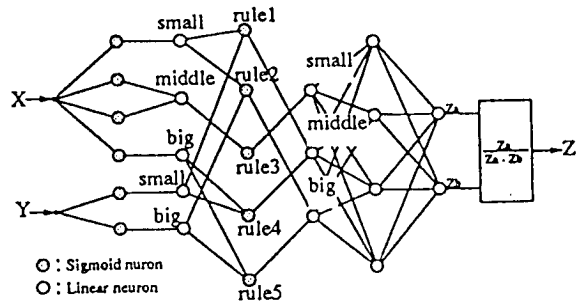


Fig.6 A Structured neural network

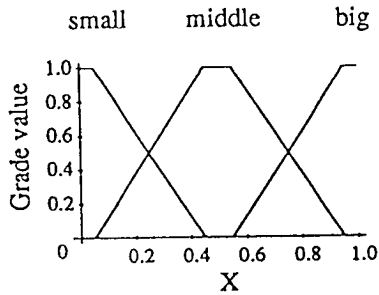


Fig.4 Membership functions

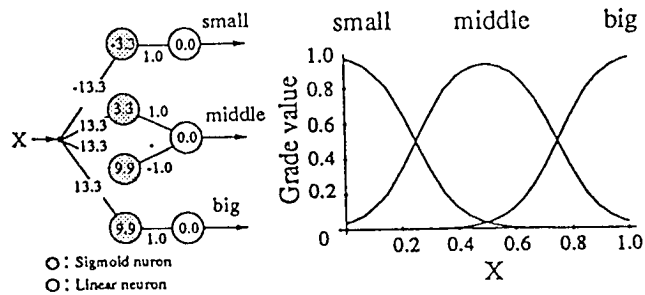


Fig.7 Components of the neural network that are corresponding to membership functions

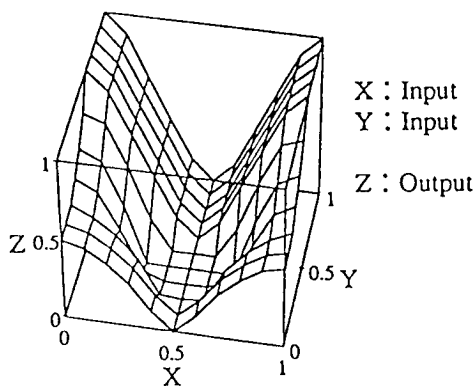


Fig.5 Input/Output relationship of the fuzzy model

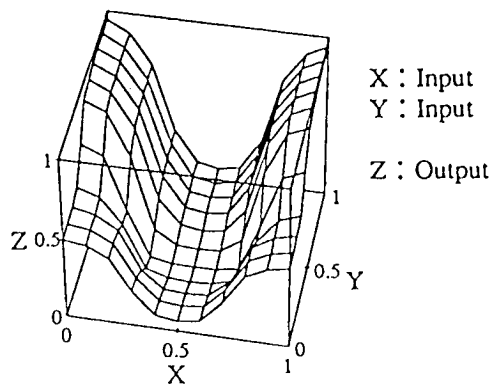


Fig.8 Input/Output relationship of the structured neural network

④学習による制御精度向上

プリワイヤによって構築されたニューラルネットワークに、図2の制御対象の入出力関係を学習させる。図2の格子(11×11)上の点のデータを教師データとし、プリワイヤによって設定された重み値(含しきい値)を初期値として、ニューラルネットワークの学習を行う。図8に示したように、プリワイヤによる初期値で、おおまかな調整は済んでいるので、微調整だけを行えば良いので学習は容易である。

図9に学習後のニューラルネットワークの入出力関係を示す。図2の制御対象の入出力関係を良い精度で実現できた。

⑤学習後のニューラルネットワークの

内部動作の説明

図10は、学習前と学習後での、入力変数Xのメンバシップ関数に対応する部分の重み値の変化を、メンバシップ関数の変化として捉えて表示したものである。

このように、学習を行ったニューラルネットワークの結合状態や重み値を、ファジィモデルのメンバシップ関数やルールに対応付けて解釈することにより、ニューラルネットワークの内部動作を説明する。

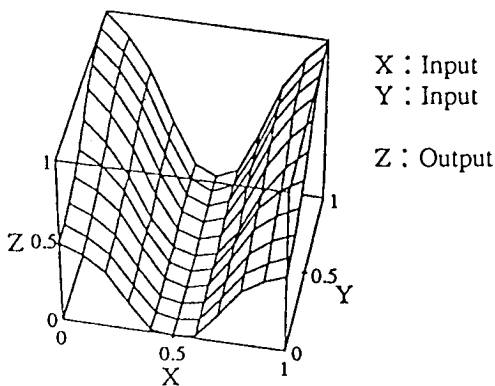


Fig.9 Input/Output relationship of the structured neural network after learning

まとめ

本システムにより以下のことが可能となった。

- ・ファジィルールを用いた、ニューラルネットワークの初期値設定
- ・ニューラルネットワークの学習によるファジィモデルの精度向上
- ・学習後のニューラルネットワークの結合状態と重み値の、ファジィモデルによる解釈

謝辞

日頃から御指導戴く棚橋純一情報処理研究部門長ならびに石井光雄システム研究部長に感謝します。

引用文献

- 1) 渡部信雄、川村旭、益岡竜介、大和田有理、浅川和雄：ニューラルネットワークによるファジィ制御—ニューロ・ファジィ融合システムの検討—、情報処理学会第40回全国大会講演論文集、148/149(1990)
- 2) Ryusuke Masuoka, Nobuo Watanabe, Akira Kawamura, Yuri Owada, Kazuo Asakawa: Neurofuzzy System - Fuzzy Inference using a Structured Neural Network, Proceedings of the International Conference on Fuzzy Logic & Neural Networks(Iizuka, Japan), 173/177(1990)
- 3) 川村旭、渡部信雄、大和田有理、益岡竜介、浅川和雄：ニューロ・ファジィ融合システムの基本構成、神経回路学会平成2年全国大会講演論文集、24(1990)

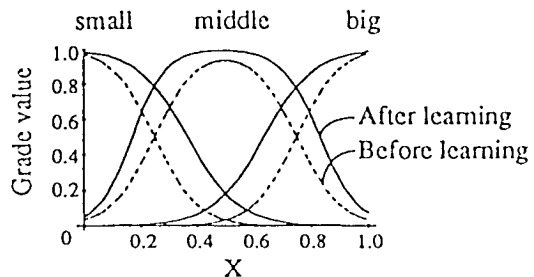


Fig.10 Improvement of membership functions by learning