

学位論文の要旨

氏名

宮島 洋文

学位論文題目

ファジィ推論システムの能力と学習法に関する研究

ファジィ推論システムは、ソフトコンピューティング計算ツールのひとつであり、主にあいまいさや不完全な知識を扱うモデルとして知られている。ファジィ推論システムについては、多くのモデルが提案されているが、高い近似精度(Accuracy)と説明能力(Interpretability)をもつモデルは知られていない。本論文では、はじめに、従来研究において高い近似精度や説明能力をもつモデルやその汎化モデルについて、理論的な能力(Universal性)、学習システムとしての近似精度や説明能力、また入力変数の増加に伴う近似能力の柔軟性について検討する。これらの結果を踏まえて、新しいモデルを提案し、Universal性学習モデルとしての近似能力や説明能力、また入力変数の増加に伴う近似能力の柔軟性に関しての有効性を示す。

以下、1、2章は準備であり、3から6章ではファジィ推論システムの従来モデルとその汎化モデルを提案し、その有効性を示す。さらに、7章では、これらの結果を踏まえた新しいモデルとその学習法を提案し、理論と数値シミュレーションにより有効性を示す。8章は、まとめである。その詳細は、以下の通りである。

第1章では、ファジィ理論の歴史と工学的背景、およびファジィ推論システムにおける最近の動向と本論文の内容と構成について述べる。

第2章は、ファジィ集合とその応用であるファジィ推論について述べる。はじめに、ファジィ推論システムの従来モデルとして知られるTS型、Mamdani型と簡略型ファジィ推論システムを導入し、学習による推論ルールの決定方法について述べる。さらに、各モデルについてこれまでに得られている結果を総括する。

第3章は、高い説明能力をもつモデルとして知られているファジィ推論システムとその汎化モデルについて説明する。従来型の簡略型ファジィ推論システムは学習後の推論ルールの言語的解釈が困難であるため、得られたシステムの問題に対する解の説明能力が低いことが知られている。本章では、高い説明能力と近似精度を実現する属性型ファジィ推論モデルの提案を行い、このモデルの近似精度の高さやUniversal性に関する理論的な解析を行う。

第4章は、ベクトル量子化を用いたファジィ推論システムの近似能力について述べる。従来のファジィ推論システムの学習においては、入力要素数が多い問題に対して計算量が膨大となるという問題がある。ソフトコンピューティングの分野では、ベクトル量子化を用いた学習モデルは入力要素数が多い問題に対してもパラメータ数を抑えることができることが知られている。ファジィ推論の分野においても、ベクトル量子化を用いた従来モデルの学習法が知られているが、学習後のモデルの近似精度が低いという問題がある。本章では、k-meansやニューラルガス等のベクトル量子化を用いた新しいモデルとその学習法を提案し、近似精度の高さや推論ルール数において有効であることを示す。

第5章は、メタヒューリスティクスを用いたハイブリッドなファジィ推論モデルとその学習法について述べる。ファジィ推論の学習に用いられる最急降下法の学習時間は短い、局所解に陥りやすく近似精度の高いモデルを得ることは難しい。一方、階層型ニューラルネットワークの学習においてはメタヒューリスティクスを組み合わせたモデルの学習を行うことで、局所解に陥る

ことを避け近似精度の高いモデルが得られることが知られている。本章では、ファジィ推論システムにメタヒューリスティックスを用いたハイブリッドなモデルと学習法を提案し、その有効性を示す。

第6章は、高い説明能力と近似精度をもつモデルとして提案されたSNIRMs(Small Number of Input Rule Modules)モデルの能力について考察する。高い説明能力をもつモデルとして提案されたSIRMs(Single Input Rule Modules)モデルは単一入力型の推論ルールを用いるファジィ推論モデルの一つであり、入力要素数が多い問題に対しても計算量が少ないという特徴を持つ。しかしながら、SIRMsモデルは複雑な問題に対しては解の精度は十分出ないことが知られており、SIRMsモデルをより一般化した少数入力ルール群型ファジィ推論モデルであるSNIRMsが提案されている。本章では、SNIRMsモデルの説明能力や近似精度について、理論と数値シミュレーションにより明らかにする。

第7章は、前章までの結果を踏まえて、線形入力型SIRMsモデルを提案し、その能力について詳述する。SNIRMsモデルは、高い説明能力と変数増加に対する計算量を抑えることができるが、モデルの近似精度は十分とはいえない。本章では、第1段階で入力変数の線形変換を行い、第2段階でSIRMsモデルによる出力導出を行う線形入力型SIRMsファジィ推論システムとその学習法を提案し、理論と数値シミュレーションにより、従来モデルやその汎化モデルと比べて高い能力をもつことを示す。また、学習後に得られたファジィ推論ルールの意味解釈を求める方法を示す。第8章では、ファジィ推論モデルの構築法について行った本論文の研究成果を総括し、今後の研究課題について述べる。

Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

Studies on the Capability and Learning Methods for Fuzzy Inference Systems

Name: Hirofumi Miyajima

Fuzzy inference systems (FIS) are one of computational tools for soft computing and known as a model processing ambiguous and incomplete knowledge. A lot of FIS have been proposed, but few FIS with high accuracy and interpretability are known. In this thesis, theoretical capability, accuracy and interpretability of the conventional and generalized FIS are clarified first. Further, new FIS consisted of two phases are proposed as one of the models with high accuracy and interpretability and the effectiveness of them is shown.

In Chapter 1, theoretical history and engineering background of fuzzy set and FIS are described. Further, recent works for FIS, the content and organization of the thesis are also described.

In Chapter 2, the conventional FIS and their learning methods based on the steepest descent method are introduced and the effectiveness of them is shown. Further, the capability for TS and Mamdani types of FIS is shown.

In Chapter 3, FIS with high interpretability are proposed and their capability of FIS is shown. It is known that FIS with high accuracy have low interpretability and FIS with high interpretability have low accuracy. In this chapter, FIS with high accuracy and interpretability are proposed and their effectiveness is shown. Further, the universal capability of the proposed FIS is shown.

In Chapter 4, FIS with vector quantization and their learning methods are proposed and the effectiveness is shown. It is known that the conventional FIS need the large number of rules in learning of the problems with high (input) dimension and the use of vector quantization for FIS leads to the reduction of fuzzy rules. In this chapter, FIS with vector quantization are proposed and the effectiveness of them is shown.

In Chapter 5, FIS with meta-heuristics and their learning methods are proposed. It is known that obvious drawbacks of learning methods based on the steepest descent method are its large computational complexity and getting stuck in a shallow local minimum. Therefore, hybrid learning methods combining FIS with meta-heuristic are proposed and the effectiveness of them is shown.

In Chapter 6, SNIRMs (Small Number of Input Rule Modules) models are proposed and the effectiveness of them is shown. SIRMs (Single Input Rule Modules) models are known as one of simple FIS with high interpretability. It is known that SNIRMs models as one of generalized SIRMs models are introduced and the capability of them is shown. It is shown that SNIRMs model is superior in accuracy and interpretability, and is inferior in the number of rules and accuracy to SIRMs and the conventional models, respectively.

In Chapter 7, SIRMs model with linear transformation of input variables consisted of two phases; the first is a linear transformation of input to intermediate variables and the second is to use SIRMs model is proposed. It is shown that the proposed model has the same capability as the conventional FIS and does not need parameters so much in learning. Further, it can be applied to classification problems with high dimension and obstacle avoidance problem as an application to control problems. As a result, it is shown that the proposed model is superior in accuracy and the number of parameters to the conventional FIS.

In Chapter 8, conclusions and the future works are described.