

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：34504

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25730151

研究課題名(和文) 高速演算を可能にしたType-2ファジィ推論モデルの提案

研究課題名(英文) Realization of Fast Calculation Method of Type-2 Fuzzy Inference Model

研究代表者

関 宏理 (Seki, Hirosato)

関西学院大学・理工学部・契約助手

研究者番号：10583693

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では新しいType-2ファジィ推論モデルとして、「Type-2単一入力型ファジィ推論モデル」、「ファジィ入力型Type-2ファジィ推論モデル」を提案した。Type-2単一入力型ファジィ推論モデルでは、従来モデルよりも規則数が非常に少ないという特徴を持っている。また、ファジィ入力型Type-2ファジィ推論モデルは、通常、従来のType-2推論モデルは前件部にType-2ファジィ集合を用いているが、本モデルの規則はType-1ファジィ集合とファジィ入力によりType-2ファジィ集合を得る。また、両推論ともに、面積法を用いることにより簡単に計算結果を求めることが可能であることをも示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, a type-2 single input connected fuzzy inference model and a type-2 fuzzy inference model with fuzzy inputs are proposed. Although the antecedent parts of the type-2 fuzzy single input connected fuzzy inference model is type-2 fuzzy sets, the number of rules become small. On the other hands, although the antecedent parts of the type-2 fuzzy inference model with fuzzy inputs uses type-1 fuzzy sets, type-2 fuzzy sets can be obtained by using type-1 fuzzy sets and fuzzy inputs. Moreover, this study shows that the inference results of the proposed models can be easily obtained by area method based on the equivalence properties.

研究分野：ソフトコンピューティング

 キーワード：ソフトコンピューティング ファジィシステム Type-1・Type-2ファジィシステム 等価性 ファジィ  
 入力 適合度関数

## 1. 研究開始当初の背景

ファジィ推論モデルは前件部と後件部を持った IF-Then 規則によって記述される手法の一つである。ファジィ推論モデルは、制御、予測、判別分析など、様々な分野へ応用され、現代でも基盤技術として使用されている。今日まで様々なファジィ推論が提案されているが、それらの推論同士の関係は明らかになっていなかった。そこで、研究代表者は各々のファジィ推論同士が等しくなるための条件である等価性を明らかにしている。等価性の性質は従来のファジィ推論モデルと拡張されたファジィ推論モデルの関係を示しており、研究代表者は各々のモデルの実現可能な範囲とその関係を示すことに成功している。この等価性を用いることにより、複雑に表現されているファジィ推論モデルを用いたとしても、規則の後件部がファジィ集合ならば、その重心と面積の荷重平均のみで計算できることを示している。また、研究代表者は後件部にファジィ集合を持つ単一入力型のファジィ推論モデルに対しても等価性を利用した高速演算が可能であることを証明している。

一方、Mendel らは、従来のファジィ推論モデルの規則を Type-2 ファジィ集合に拡張した Type-2 ファジィ推論モデルを提案している。また、Hagras は Type-2 ファジィ制御によるモバイルロボットの実自動制御に成功しており、大きな注目を集めている。Type-2 ファジィ集合は従来のファジィ集合よりも、より人間の直感に近いことが知られている。しかしながら、Type-2 へ拡張されたファジィ推論モデルの構造は非常に複雑となり、その計算量は非常に膨大となるという問題が指摘されている。また、その複雑な計算過程により、性質の解明や規則の最適化が非常に困難となっていることが知られている。このことから今日では Type-2 に関する多くの研究が活発に行われているものの、未

だに十分な成果は得られていない。

Type-2 に関する研究は、国外では非常に盛んであるものの、国内では Type-2 ファジィ集合に関する研究が近年いくつかは行われるようになったが、まだまだ少ないのが現状である。また、糖尿病や肝臓病など、医療診断では病気の早期発見が非常に重要となってくる。このことから、研究代表者はこれまで与えられたデータに対して早期発見を目指した、従来のファジィ推論モデルによる医療診断への応用を行ってきた。しかしながら、通常、医療データは複雑であり、必ずしも良好な結果を得ることができるとは限らない。したがって、ファジィ推論を用いた医療診断システムにおいて、従来よりも表現能力に富んだ推論法を用いる必要がある。

## 2. 研究の目的

従来のファジィ推論の拡張手法の一つとして、Type-2 ファジィ集合を用いた Type-2 ファジィ推論モデルが存在する。Type-2 ファジィ推論は様々な国際会議で毎年多くの発表が行われている。しかしながら、計算が複雑であるため、性質の解明が困難であることや、そのパラメータ数の多さから計算量などが問題となっている。したがって本研究では従来の Type-2 の精度を落とすことなく、シンプルでかつ高速演算を可能にした Type-2 ファジィ推論モデルを提案し、その性質を解明する。さらに、提案モデルを人間の経験や知識が必要である医療診断システムや非線形関数モデリングなどへ適用し、その精度の有効性と適用可能性を示すことを目的とする。

## 3. 研究の方法

まず初めにファジィ推論の等価性より導き出された加算と乗算を用いることにより、規則の後件部ファジィ集合の面積と重心から、加算と乗算のみで推論結果を得ることの

できる高速演算型 Type-2 ファジィ推論モデルの提案を行う。次に、加算と乗算を用いた推論結果の関係を利用して、高速演算型 Type-2 ファジィ推論モデルの単調性の条件を明らかにする。また、高速演算型 Type-2 ファジィ推論モデルを医療診断、非線形関数の同定、判別分析などの実システムへ応用する。また、応用する際には高速演算型 Type-2 ファジィ推論モデルの最適化手法を加算と乗算の演算を用いている関係から導出する。さらに、従来モデルと比較することにより、提案モデルの評価・検討と今後の改善方法についても明らかにする。

#### 4．研究成果

ファジィ推論モデルにおいて、入力数が増加すれば規則数も指数的に増加するという問題が存在する。これを解決するために、1 入力 1 出力のルール群で構成することにより規則数を大幅削減可能とした SIC 推論モデルが提案されている。しかしながら、本推論モデルは規則を大幅に削減していることから、一般的には得られる結果は単調になりやすいことが指摘されている。

本研究では、SIC 推論モデルの規則に重みを付与したファジィシングルトン型 SIC 推論モデルを提案した。また、従来モデルと比較することにより、本モデルの方が精度の良い結果を得ることができることを示した。

Type-2 ファジィ推論モデルは従来のファジィ推論モデルよりも表現が拡張されているが、基礎的性質である等価性と単調性を示すことは従来のモデルよりもはるかに難しい。そこで本研究では、上述した SIC 推論モデルの規則を Type-2 ファジィ集合へ拡張することにより、規則数が削減された Type-2 SIC ファジィ推論モデルを提案した。

また、本モデルの性質の一つとして等価性を示すことにより、ファジィルールの後件部ファジィ集合の面積と重心のみで計算する

ことができることを証明した。この結果から、最急降下法などの学習法も従来通り適用できることをも示した。

本研究では新しい Type-2 ファジィ推論モデルとして、「ファジィ入力型 Type-2 ファジィ推論モデル」とその高速演算手法を提案した。通常、従来の Type-2 ファジィ推論モデルの推論結果は前件部に Type-2 ファジィ集合を用いているが、本モデルの規則は Type-1 ファジィ集合を用いており、ファジィ入力により Type-2 ファジィ集合を得ることができる。また、面積法を用いることにより簡単に計算結果を求めることが可能であることをも示した。さらに、本モデルはファジィ重み付き推論モデルと等価であることを示したが、このことから従来の推論モデルにファジィ重みを付加し、微妙な調整が可能であることがわかる。本モデルはファジィ入力を用いているが、クリस्प入力に対してファジィ化しているとも見なせるため、入力の重心と幅を学習することにより、実システムにも精度高く対応できることが期待される。

Type-2 単一入力型ファジィ推論モデルは重み付き単一入力型ファジィ推論モデルと等価であることを示したが、この重みを適合度関数へ拡張することによる「適合度関数付き単一入力型ファジィ推論モデル」を提案した。適合度関数は様々な関数を選択することができることから、単調となりやすい単一入力型ファジィ推論モデルの推論結果を幅広く拡張できることを明らかにした。複雑な適合度関数を使ったとしても、面積法により推論結果を容易に求めることができることから、規則数が少なく、推論能力も高いモデルであることも示された。

#### 5．主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

1. Hirosato Seki, "Nonlinear identification using single input connected fuzzy inference model," *Procedia Computer Science*, 査読有, vol.22, pp.1121-1125, September 2013.  
doi:10.1016/j.procs.2013.09.198
2. 関宏理, 水本雅晴, "Type-1・Type-2 ファジィ推論モデル," *日本知能情報ファジィ学会誌*, 査読無, vol.25, no.3, pp.81-87, June 2013.

〔学会発表〕(計 12 件)

1. 関宏理, "適合度関数をもつ SIC ファジィ推論モデルに関する一考察," *電子情報通信学会 第 28 回多値論理とその応用研究会*, pp.45-50, 2015 年 1 月 10 日, てんぶす那覇 (沖縄県那覇市)
2. Hirosato Seki, "SIRMs Connected Fuzzy Inference Model with Compatibility Functions," 2014 IEEE International Conference on Granular Computing 2014, pp.245-249, 2014 年 10 月 24 日, 登別グランドホテル (北海道登別市) .
3. 関宏理, 馬野元秀, 水本雅晴, "ファジィ入力型 Type-2 ファジィ推論モデル," 第 30 回ファジィシステムシンポジウム, pp.774-779, 2014 年 9 月 3 日, 高知城ホール (高知県高知市) .
4. Hirosato Seki, "Equivalence conditions of fuzzy inference models," *The 3rd International Conference on Informatics, Electronics & Vision*, Dhaka, Bangladesh, 2014 年 5 月 23 日. (招待

講演)

5. 関宏理, "Type-2 ファジィシステム," *パーティクルフィルタ研究会*, 2013 年 12 月 13 日, 関西学院大学(兵庫県三田市).
6. 関宏理, "代数積-加算-重心ファジィモデルの性質に関する一考察," *計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会*, 2013 年 11 月 19 日, ピアザ淡海 (滋賀県大津市) .
7. Hirosato Seki, "Type-2 SIC fuzzy inference models," 2013 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Manchester, UK, pp.3939-3943, October 2013 年 10 月 16 日.
8. 関宏理, 水本雅晴, "代数積-加算-重心モデルの改良に関する一考察," 第 29 回ファジィシステムシンポジウム, 2013 年 9 月 11 日, 大阪国際大学 (大阪府枚方市) .
9. 長田健志, 石井博昭, 関宏理, "制約条件付きファジィ推論法による医療診断," 第 29 回ファジィシステムシンポジウム, 2013 年 9 月 11 日, 大阪国際大学 (大阪府枚方市) .
10. Hirosato Seki, "Nonlinear identification using single input connected fuzzy inference model," 17th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems, 2013 年 9 月 10 日, 北九州国際会議場 福岡県北九州市) .

11. 関宏理, “種々の Type-2 ファジィ推論モデル, 第3回コンピューテーショナル・インテリジェンス研究会,” pp.73-77, 2013年8月30日, 大阪大学(大阪府吹田市).

12. Hirosato Seki and Masaharu MIZUMOTO, “Fuzzy singleton-type SIC fuzzy inference model,” 2013 IEEE International Conference on Fuzzy System, Hyderabad, India, 2013年7月10日.

〔図書〕(計 1件)

1. 関宏理, 朝倉書店, 日本経営工学会編, ものづくりに役立つ経営工学の辞典, 383(pp.328-331), 2013. (分担著書)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

関 宏理 (SEKI, Hirosato)

関西学院大学・理工学部・契約助手

研究者番号: 10583693