

平成 14 年度未踏ソフトウェア創造事業プロジェクト

P M : 東京大学 生産技術研究所 教授 喜連川 優

知能推論システム ヒューマン推論エンジン

開発者 : 高知工科大学 教授 王 碩玉

1 . 背景及び目的

近年、情報技術進歩のお陰で日常生活から思想と文化までは急速に変わっており、物を扱っていた工学分野では、人間にやさしい設計工学思想のような、人間との関わりのある研究・開発も認められるようになってきた。すなわち、機械としての「物」ではなく、人間のように他者に対して思いやりのある「物」を創出することが求められている。そのため、「物」には、人間の持っている知識を定量表現でき、未知の状況に置かれても人間のように適切な結論を推論する能力を備えることが必要である。本プロジェクトでは、ファジィ集合論により人間の知識を定量化し、ファジィ集合間の距離情報に基づいて人間らしい推論エンジンを開発することを目的としている。ファジィ集合論の思想は個人性を重視する 21 世紀のニーズに適しているので、重要なヒューマンテクノロジーである。

2 . 基本的な立場

“ファジィだから適当にやればいい” というような誤解は一般にあり、ファジィを研究している研究者からですら見受けられる。一方、2 値論理の世界には、“何でも厳密にやる” とのフィロソフィーがある。しかし、厳密 (Strict) と精密 (Precise) は全く違った概念で、つまり厳密は必ずしも精密な結果に結びつかない。例えば、高齢者は 65 歳以上の人と厳密に定義されているが、65 歳の誕生日の前日でも高齢者ではないのに、次の日いきなり高齢者になってしまったのは、極めて不自然で、やはり客観事実を精密に表現できていないことが判る。我々の研究立場が、ファジィ概念 (曖昧な概念) をより精度よく定量表現し、より精密な推論結果を得られる推論アルゴリズムを開発することである。そのため、ファジィ集合間の距離を精密に計算する公式を考案し、距離型ファジィ推論法をシリーズ的に提案している。

3 . ヒューマン推論エンジンの構成概要

本ヒューマン推論エンジンに、Mamdani の推論法、高木 菅野推論法 (また関数型推論法とも呼ばれている) 簡略型推論法、乗法 加法型推論法など従来の推論法は勿論一通り揃えている。さらに、開発者により提案している距離型ファジィ推論法の諸アルゴリズムを集大成している。距離型ファジィ推論法は、ファジィ集合間の距離を推論の根拠として、基幹アルゴリズムをはじめ、数値的真理値と言語的真理値、一段ルールと多重多段ルール、学習と連想、連続と離散、直接空間と特性空間など多角度から、新しい推論アルゴリズムをシリーズに提案しているもので、各々の特長について厳密に証明している。ここでヒューマン (人間らしい) は、推

論自身が人間らしいことと、推論エンジンの使いやすさとの二つの側面があって、次の五つの性質を備えることを意味している。 クリस्प集合のみではなく、人間のように曖昧な概念や知識も取り扱う。 人間のように状況に応じて選択的に知識(ルール)を利用して推論を行う。 未知の状況や不完全な知識に対しても、人間のようにロバスタな推論を行う。 一定の事実に対して常に同じ結論を下す機械的推論ではなく、人間のように一定の事実でも必ずしも同じ結論になるわけではない。 知識(ルール)の表現形式は数値的手法のみではなく、GUI によるビジュアル的手法をも持つので、何方でも使える。 具体的に次の内容を含めている。

- 代表的な三つの適合度型ファジィ推論法
- 距離型ファジィ推論法の諸アルゴリズム
- ファジィ変数のビジュアル的入力と表示
- 学習により得られた最適知識ルール構造の保存機能
- 初心者も感性的に理解できる実例

4 . 距離型ファジィ推論法の基本アルゴリズム

Mamdani の推論法、高木 菅野推論法(また関数型推論法とも呼ばれている) 簡略型推論法、乗法 加法型推論法は関連専門図書に詳細な説明があるので、ここでは距離型ファジィ推論法の基本アルゴリズムについて概説する。ただし、提案している推論法のシリーズ中にある、数値的真理値と言語的真理値、一段ルールと多重多段ルール、学習と連想、連続と離散、直接空間と特性空間などの推論アルゴリズムは参考文献を参考されたい。ここで下記のルールを考える。

$$R^1 : x_1 = A^{11} \wedge x_2 = A^{12} \wedge \cdots \wedge x_m = A^{1m} \rightarrow y = B^1$$

$$R^2 : x_1 = A^{21} \wedge x_2 = A^{22} \wedge \cdots \wedge x_m = A^{2m} \rightarrow y = B^2$$

.....

$$R^i : x_1 = A^{i1} \wedge x_2 = A^{i2} \wedge \cdots \wedge x_m = A^{im} \rightarrow y = B^i$$

.....

$$R^n : x_1 = A^{n1} \wedge x_2 = A^{n2} \wedge \cdots \wedge x_m = A^{nm} \rightarrow y = B^n$$

$$x_1 = A^1 \wedge x_2 = A^2 \wedge \cdots \wedge x_m = A^m$$

$$y = B$$

ただし、 A^{ij} : 前件部

B^i : 後件部

A^j : 事実

B : 推論結果

$i = 1, 2, \dots, n$

$j = 1, 2, \dots, m$

推論アルゴリズムは次の3ステップによって構成される。

STEP 1: 事実と前件部との距離を計算する。

$$d_i = \sum_{j=1}^m d(A^{ij}, A^j)$$

$i = 1, 2, \dots, n$

$$\begin{aligned} d(A^{ij}, A^j) = & \left[\int_0^1 |\inf A^{ij}_{M\alpha} - \inf A^j_{M\alpha}|^p d\alpha \right]^{\frac{1}{p}} \\ & + \left[\int_0^1 |\sup A^{ij}_{M\alpha} - \sup A^j_{M\alpha}|^p d\alpha \right]^{\frac{1}{p}} \\ & + \left[\int_{-\infty}^{\infty} \left| \left(\frac{1}{M_{A^i}} - 1 \right) \mu_{A^i}(x) - \left(\frac{1}{M_{A^j}} - 1 \right) \mu_{A^j}(x) \right|^p dx \right]^{\frac{1}{p}} \end{aligned}$$

ただし、

$\mu_{A^i}(x)$: A^i のメンバーシップ関数

M_{A^i} : $\mu_{A^i}(x)$ の最大値

$A^{ij}_{M\alpha}$: M_{A^i} で A^i 正規化したファジィ集合の 集合

$\sup A^{ij}_{M\alpha}$ と $\inf A^{ij}_{M\alpha}$ は $A^{ij}_{M\alpha}$ の上限と下限

STEP 2: 推論結果の α -レベル集合を計算する。

$$\inf B = \frac{\sum_{i=1}^n \inf(B_{\alpha}^i) \prod_{j=1, j \neq i}^n d_j}{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1, j \neq i}^n d_j}$$

$$\sup B = \frac{\sum_{i=1}^n \sup(B_{\alpha}^i) \prod_{j=1, j \neq i}^n d_j}{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1, j \neq i}^n d_j}$$

$$B_{\alpha} = [\inf B, \sup B]$$

STEP 3: 推論結果を求める。

$$B = Y\alpha \cdot B_{\alpha}$$

本推論アルゴリズムが次の特徴を持っている。

- 分離規則は満たされている - > ルールの物理意味がよく明確になり、学習により最適なルールを獲得することが容易である。
- 結果 B は凸なファジィ集合 - > 推論結果は実数の拡張の形で、ファジィ数になるので、数理論理の立場から厳密に議論できる。
- 漸近特性を持っている > 推論の方向性が予測でき、安心して使える。
- 疎なルールにも適用できる - > 実際のシステムにおいて少ないルールで同じ推論特性が得られる。
- 推論結果には整合性がある - > 推論結果と後件部変数が同値性を持っているので、わざと積分して重心などを求めることが必要ではない。

5 . 謝辞

長年に渡り共同研究者である北海道大学の土谷武士教授と大阪電気通信大学の水本雅晴教授との議論がなければ距離型推論法の理論整備が不可能である。この場を借りて深謝します。次に「未踏ソフトウェア創造事業プロジェクト」を企画してくださった情報処理振興会に感謝の意を表します。そして、開発者の夢に対してご理解いただいた、プロジェクトマネジャー喜連川優教授をはじめ審査員の皆様本当

にありがとうございました。特に深夜何時でも素早く適切なアドバイスをいただいた喜連川先生に深くお礼申し上げます。また契約や会計などで丁寧に教えてくださった財団法人京都高度技術研究所の皆様、本当にありがとうございました。また本研究に携わっていた学生諸君にも色々な側面から手伝っていただき本当にありがとうございました。最後に大変いい加減な生活をしている開発者の夢に対して、いつも理解してくれる家族に褒詞を送りたい。

- 1) 王, 土谷, 水本: 多重多段距離型ファジィ推論法, バイオメディカルファジィシステム学会論文 文集, Vol.3, No. 1, pp.37-58(2002)
- 2) 水本, 石岩, 王: 推論結果に対してずれを有するファジィ推論法,
- 3) バイオメディカルファジィシステム学会論文 文集, Vol.3, No. 1, pp.29-36(2002)
- 4) S. Y. Wang, T. Tsuchiya, M. Mizumoto: A Learning Algorithm for Distance-type Fuzzy Reasoning Method, Int. J. of Biomedical Soft Computing and Human Sciences, Vol.6, No.1, pp.61-68 (2000)
- 5) 王, 水本, 土谷: 命題真理値を考慮した距離型推論法, バイオメディカルファジィシステム学会論文 文集, Vol.2, No. 1, pp.1-16(2000)
- 6) S. Y. Wang, K. Kawata, T. Kimura (他3名): Horse Riding Robot for Healthy Improvement and the Control, Int. J. of Advanced Robotics, Vol.13, No.3, pp.223-225(1999)
- 7) 王, 土谷, 水本: 距離型ファジィ推論法 - 基本アルゴリズムの提案 -, バイオメディカルファジィシステム学会論文 文集, Vol.1, No. 1, pp.61-78(1999)
- 8) 王, 河田: ゴムストリング型連想記憶アルゴリズムの提案, システム制御情報学会論文誌, Vol.11, No.8, pp.411-413(1998)
- 9) 溝淵, 王, 河田, 山本: 距離型ファジィ推論法による案内ロボットの制御, 17th Fuzzy System Symposium 論文 文集, pp.257~260 (2001)
- 10) 溝淵, 王, 河田, 山本: 人間との相互関係を考慮した案内ロボットの制御, 第6回知能メカトロニクスワークショップ論文 文集, pp.49~54 (2001)
- 11) 木村, 王, 土谷: 距離型ファジィ推論法を用いたモデルに基づくファジィ制御, 16th Fuzzy System Symposium 論文 文集, pp.5-6 (2000)
- 12) 木村, 王, 土谷: 距離型ファジィ推論法によるファジィモデリング, 17th Fuzzy System Symposium 論文 文集, pp.145~148 (2001)
- 13) 石田, 王, 土谷: 距離型ファジィ推論法による学習アルゴリズムを用いた静的画像圧縮, 16th Fuzzy System Symposium 論文 文集, pp.45-48 (2000)
- 14) 加藤, 王, 土谷: 距離型ファジィ推論法を用いたWWW情報検索, 16th Fuzzy System Symposium 論文 文集, pp.367-368 (2000)
- 15) 田中, 王, 土谷: ゴムストリング型連想記憶アルゴリズムの情報検索への応用, 16th Fuzzy System Symposium 論文 文集, pp.369-372 (2000)
- 16) 小島, 王, 土谷: 感性に基づく人間視覚系快適システムについて, 第2回日本感性工学会大会論文 文集, pp.172 (2000)
- 17) 小島, 王, 土谷: 聴覚系快適システムにおける音色変更アルゴリズムについて, 17th Fuzzy System Symposium 論文 文集, pp.397~398 (2001)
- 18) 王, 水本, 土谷: 距離型ファジィ推論法に基づくヒューマン推論エンジンの開発, 日本ファジィ学会中国四国支部講演会論文 文集, pp.11~12 (2002)