ファジィ量限定詞および真理値限定詞を含む 自然言語命題におけるルールベースの推論方法†

岡本 渉・田野 俊一*¹・井上 敦司*²・藤岡 亮介*³

本論文において、我々は自然言語対話システムやエキスパートシステムを構成する際に必要な IF... THEN...ルールベースの推論方法を提案する。本方法においては、入力命題が“QA are F is τ ”で IF... THEN...ルール “IF Q'A' are F' is τ_A THEN Q''A'' are F'' is τ_B ” が与えられ、推論結果が “Q''A'' are F'' is τ_B ” (Q, Q', Q'': ファジィ量限定詞, A, A', A'': ファジィ主語, F, F', F'': ファジィ述語, $\tau, \tau_A, \tau_B, \tau_B'$: 真理値限定詞) の時、真理値限定詞 τ_B' を求めることができる。我々は、推論結果 “Q''A'' are F'' is τ_B ” を、Q が単調の場合に対し具体例により示す。さらに、様々な含意関数におけるルールの真理値ファジィ集合を求め、これらを使用し際の推論結果に対し考察を加える。

キーワード：自然言語，ファジィ推論，ファジィ量限定詞，真理値限定詞，修飾詞

1. はじめに

自然言語による対話システムやエキスパートシステムを構成するには、日常会話で多用されるファジィ量限定詞及びファジィ質限定詞を含む命題で記述された知識に基づき推論を行い、回答を作成する必要がある。

知識命題が 1 個の場合については、我々は、ファジィ量限定詞および真理値限定詞を含む命題の、推論による変形により回答を作成する方法について報告した[4-7].

次に、我々の従来研究と本報との関係につき簡単に述べる。我々の既に提案した方法は、変形の対象として、ファジィ述語およびファジィ主語および真理値限定詞を同時に扱うものである。

以下, Zadehの記法に従い

Q：ファジィ量限定詞

A : ファジィ主語

m：修飾詞

F : ファジィ述語

 τ : 真理値限定詞

として、ファジィ量限定詞及び真理値限定詞を含む命題を

QA are F is τ

で表現する[9].

例えば，我々の既に提案した推論による命題の変形方法により，以下の変形が可能になる[4-7]．

$$QA \text{ are } F \text{ is } \tau \Rightarrow Q' (m' A) \text{ are } mF \text{ is } m'' \tau$$

上記変形を使用して，以下のタイプの質問に対し回答を作成することが可能である。

How many $(m' A)$ are mF is $m'' \tau$?

Is it true that Q' ($m' A$) are mF ?

具体的に述べると，我々の提案した手法により，以下の変形が可能となる，

Few heavy men are more or less tall is more or less true

$\Rightarrow$ *Only a few* very heavy men are tall is very true.

この時、以下の質問に対し回答が可能となる。

How many very heavy men are tall is very true ?

Is it true that only a few very heavy men are tall ?

次に、複数の知識命題から推論を行い、質問に対し回答することを考える。

例えば、以下の推論を考える。

Q1A1 are F1 is τ_1

• •

$Q_n A_n$ are F_n is τ_n

QA are F is τ

この問題に対しては，限定条件の下でZadehが研究を行っている[9]．ただし，Zadehは，知識命題がルールで記述される場合に対しては研究を行っておら

† A Rule-based Inference Method for Natural Language Propositions Involving Fuzzy Quantifiers and Truth Qualifiers
Wataru OKAMOTO, Shun'ichi TANO, Atsushi INOUE and
Ryosuke FUJIOKA

*1 電気通信大学 大学院情報システム学研究科
Graduate School of Information Systems, University of Electro-Communications

*2 イースタンワシントン大学コンピュータサイエンス学科
Department of Computer Science, Eastern Washington University

*3 神戸総合速記株式会社
Kobe Sogo Sokki Co.,Ltd

ず、この場合を研究する必要がある。

本報においては、我々が以前研究した命題の変形方法を使用して、IF... THEN...ルールにより記述される知識命題(2命題から成る知識命題)において、推論を行うことにより、質問に対する回答を作成する手法を提案する。すなわち、 P, Q, P', Q' がファジィ命題 $QA \text{ are } F \text{ is } \tau$ の場合に、以下のファジィ推論を行う方式を新たに提案する。

$$\begin{array}{l} P' \\ \hline \text{IF } P \text{ THEN } Q \\ \hline Q' \end{array}$$

以下、第2章において従来の、推論による1命題の変形方法について述べ、第3章にて、本報にて新たに提唱する IF... THEN... ルールベースの推論方法について述べる。第4章において、本推論方法の適用例について述べる。第5章において、ルールの含意関数として様々なものを用いた場合について、推論結果につき考察を加える。最後に6章にてまとめる。

2. 従来の推論方法

ファジィ量限定詞および真理値限定詞を含む命題において、ファジィ述語およびファジィ主語および真理値限定詞への変形を同時に行う場合を考える。

このとき、以下の変形を扱う。

$$QA \text{ are } F \text{ is } \tau \Rightarrow Q''' (m'A) \text{ are } mF \text{ is } m'' \tau$$

ここで、推論による変形を以下の4つのステップに分割する[7]。

ステップ1

$$QA \text{ are } F \text{ is } \tau \Rightarrow Q' (m'A) \text{ are } F \text{ is } \tau$$

ステップ2

$$Q' (m'A) \text{ are } F \text{ is } \tau \Leftrightarrow Q'' (m'A) \text{ are } mF \text{ is } \tau$$

ステップ3

$$Q'' (m'A) \text{ are } mF \text{ is } \tau \Leftrightarrow Q1 (m'A) \text{ are } mF \text{ is } TT$$

ステップ4

$$Q1 (m'A) \text{ are } mF \text{ is } TT \Leftrightarrow Q''' (m'A) \text{ are } mF \text{ is } m'' \tau$$

ここで、 $Q, Q1$ のメンバーシップ関数は単調な関数で、 τ のメンバーシップ関数は狭義単調増加または狭義単調減少な関数と仮定する。また、TTは真理値限定詞とする。

具体的に述べると、以下のように推論を行う。以下、変形を受けた対象を、アンダーラインを付して示す。

ステップ1

Few heavy men are more or less tall is more or less true

$$\Rightarrow Q' \text{ very heavy men are more or less tall} \\ \text{is more or less true.}$$

ステップ2

$$Q' \text{ very heavy men are more or less tall} \\ \text{is more or less true.}$$

$$\Leftrightarrow Q'' \text{ very heavy men are } \underline{\text{tall}} \text{ is more or less true.}$$

ステップ3

$$Q'' \text{ very heavy men are tall is more or less true.}$$

$$\Leftrightarrow \underline{\text{Few very heavy men are tall}} \text{ is TT.}$$

ステップ4

$$\text{Few very heavy men are tall is TT.}$$

$$\Leftrightarrow Q''' \text{ (Only a few) very heavy men are tall} \\ \text{is } \underline{\text{very true.}}$$

上記ステップにおいて、ステップ1は論文[6]、ステップ2は論文[4]、[5]で述べた推論方法を用いて実行可能である。ステップ3は真理値逆限定、ステップ4は真理値限定の手法を用いて容易に実行可能である。

3. IF... THEN... ルールベースの推論方法

第2章で述べた変形手法を用いて、IF... THEN... ルールベースで推論を行う手法を提案する[13]。すなわち、 P, Q, P', Q' がファジィ命題 $QA \text{ are } F \text{ is } \tau$ の場合に、以下のファジィ推論を行う手法を新たに提案する。

$$\begin{array}{l} P' \\ \hline \text{IF } P \text{ THEN } Q \\ \hline Q' \end{array}$$

この推論方式は、ファジィ命題が $x \text{ is } A$ (x は変数で、 A はファジィ集合のラベル)の場合の、従来の推論方法を拡張したものと捉えることもできる。

以下、具体的に次の推論を考える。

$$QA \text{ are } F \text{ is } \tau$$

$$\text{IF } Q1A' \text{ are } F' \text{ is } \tau A \text{ THEN } Q''A'' \text{ are } F'' \text{ is } \tau B \\ Q''A'' \text{ are } F'' \text{ is } \tau B'$$

まず、最初に第2章で述べた変形方法において、ステップ3までの変形を用いて、入力命題を以下のように変形する。

$$QA \text{ are } F \text{ is } \tau \Rightarrow Q1(m'A) \text{ are } mF \text{ is } TT$$

ここで、

$$A' = m'A, F' = mF$$

と仮定している。

次に、入力命題とIF... THEN... ルールの前件部命題間の適合度 τ' を求める。

$$\tau' = \int TT/\tau A$$

次に、推論解を求める。本報においては、入力命題

とIF... THEN... ルール前件部命題間の適合度を使用して推論解を求めるため、間接法を使用するのが自然であると考えられる。

間接法には、Baldwinの方法[1]、塚本の方法[2]、水本の方法[3]等が存在するが、IF... THEN... ルール前件部命題、後件部命題の真理値ファジィ集合を使用してルールの真理値ファジィ集合を求め、推論解を導出する水本の方法を使用するのが、自然と考えられる。

また、水本の方法においては、含意関数としてルカシビッツのものを使用すると、modus ponensが成立することが知られており、概ね自然な推論結果を得られる。

水本の方法によると、ルール前件部命題及び後件部命題の真理値ファジィ集合が共にtrueの場合、ルールの真理値ファジィ集合が $(\text{true} \Rightarrow \text{true}) = \text{true}$ となるため、推論結果は以下になることが知られている[3]。

入力命題とルール前件部命題との適合度がtrueの場合、 $\tau B = \text{true}$ であるから、推論結果 $\tau B'$ は、

$$\tau B' = \text{true} \wedge (\text{true} \Rightarrow \text{true}) = \text{true} \quad (\text{modus ponens})$$

入力命題とルール前件部命題との適合度がvery trueの場合、推論結果 $\tau B'$ は、

$$\tau B' = \text{very true} \wedge (\text{true} \Rightarrow \text{true}) = \text{true}$$

入力命題とルール前件部命題との適合度がmore or less trueの場合、推論結果 $\tau B'$ は、

$$\tau B' = \text{more or less true} \wedge (\text{true} \Rightarrow \text{true}) = \text{more or less true}$$

入力命題とルール前件部命題との適合度がnot trueの場合、推論結果 $\tau B'$ は、

$$\tau B' = \text{not true} \wedge (\text{true} \Rightarrow \text{true}) = \text{not true (false)}$$

ここで、trueはunitary trueとした。

ただし、この場合推論結果はunknownとなるのが直観的に正しいと考えられるので、この場合のみ直観に合わない結果を得る[12]。

以上、これらの結果は、直観とも概ね一致していると考えられる。

間接法に関しては、含意関数を適当に選べば、水本の方法はBaldwinの方法と同一の推論結果を与えることが知られている[11]。また、Baldwinの方法と直接法は、一定の条件の下で同等であることも知られている[10]。さらに、含意関数にパラメータを用いて一般化し、学習によりパラメータの値を求めることにより、含意関数を最適化する研究も行われている[8]。

含意関数として適当なものが何かは、難しい問題であるが、ここでは、推論結果が概ね直観に一致することから、ルカシビッツの含意関数を使用することと

する。

以下、水本の方法に従って、推論結果を求める。

まず、ルールの真理値を求める。

$$\tau_{A \Rightarrow B}(c) = \sup_{I(s,t)=c} \{ \tau A(s) \wedge \tau B(t) \} \quad (1)$$

含意関数 $I(s,t)$ は、ルカシビッツの含意関数を使用した場合、次式で与えられる。

$$I(s,t) = 1 \wedge (1 - s + t)$$

推論結果 τ'' は、適合度 τ' を用いて、以下のように求められる。

$$\tau''(b) = \sup_{a \wedge c = b} \{ \tau'(a) \wedge \tau_{A \Rightarrow B}(c) \}$$

従って、最終的な推論結果 $\tau B'$ は、 τB を推論結果 τ'' で真理値限定して、以下のように求められる。

$$\tau B'(y) = \tau''(\tau B(y))$$

4. 適用例

ここでは、推論結果を具体例を用いて示す。

まず、比較的単純な場合について示し、次に複雑な例を示す。以下、Fをファジィ集合のラベルとして、

$$\mu_{\text{very } F}(x) = (\mu_F(x))^2, \quad \mu_{\text{more or less } F}(x) = (\mu_F(x))^{1/2}$$

として議論を進める。

・例1

以下の知識命題(IF... THEN... ルール)に対し、入力命題が与えられた場合の推論結果を示す。

(入力命題)

Few old residents are very heavy is true.

(ルール)

IF some few old residents are heavy is very true

THEN many old residents are sick is true.

この場合、入力命題を以下のように変形する。

Few old residents are very heavy is true.

$\Leftrightarrow$ some few old residents are heavy is TT

次に、入力命題とルール前件部命題との適合度 τ' を求める。

$$\tau' = \int \text{TT} / (\text{very true})$$

次に、ルールの真理値ファジィ集合を求めて推論を行い、 τ'' を求め、 τB を真理値限定して $\tau B'$ を求める。

$$\tau B' = \text{more or less true}$$

から、推論結果は以下になる。

Many old residents are sick is *more or less true*.

推論の詳細を図1に示すとともに、以下に概略を示す。

図1 例1の推論ステップ

(変形のステップ2)

本ステップにおいては、以下の変形を行う。

Few old residents are very heavy is true
 $\Leftrightarrow Q''$ old residents are heavy is true

右図において、very heavy $\rightarrow$ heavyと変形した時 (m=more or less), 左図において変形結果 few $\rightarrow Q''$ を得る。

(変形のステップ3)

本ステップにおいては、以下の変形を行う。

Q'' old residents are heavy is true
 $\Leftrightarrow$ some few old residents are heavy is TT

右図において、 $Q'' \rightarrow$ some fewと変形した時、左図において変形結果 true $\rightarrow$ TTを得る。

(ルールベースの推論ステップ)

右図において、 $\tau_{A \Rightarrow B} = \text{true}$, τ' を用いて推論結果 τ'' を求めた後、左図において、 $\tau B = \text{true}$ を τ'' により真理値限定し、最終的な推論結果 $\tau B'$ を得る。

推論結果は、また以下のように直観的に理解することができる。(変形のステップ2)において、very heavy $\rightarrow$ heavyと変形した時、 Q'' は拡大化されることが直観的に分かる[4],[5]。(変形のステップ3)において、 $Q'' \rightarrow$ some fewと集中化する変形を与えた時、TTはtrueを拡大化する変形を受けることが直観的に分かる。従って、 $\tau A = \text{very true}$ であることから、適合度 τ' は more or less true を拡大化し

たものになることが分かる。結果として、推論結果 τ'' はmore or less trueを拡大化したものとなり、最終的な推論結果 $\tau B' = \text{more or less true}$ を求めることができる。

・例2

以下の知識命題(IF... THEN... ルール)に対し、入力命題が与えられた場合の推論結果を示す。

(入力命題)

Few very old residents are heavy is true.

(ルール)

IF some few old residents are heavy is very true
 THEN many old residents are sick is true.

この場合、入力命題を以下のように変形する。

Few very old residents are heavy is true.

$\Rightarrow$ some few old residents are heavy is TT

次に、入力命題とルール前件部命題との適合度 τ' を求める。

$$\tau' = \int TT / (\text{very true})$$

次に、ルールの真理値ファジィ集合を求めて推論を行い、 τ'' を求め、 τB を真理値限定して $\tau B'$ を求める。

$\tau B' = \text{more or less true}$

から、推論結果は以下ようになる。

Many old residents are sick is *more or less true*.

推論の詳細を図2に示すとともに、以下に概略を示す。

図2 例2の推論ステップ

(変形のステップ1)

本ステップにおいては、以下の変形を行う。

Few very old residents are heavy is true.

$\Rightarrow Q'$ old residents are heavy is true

右図において、very old $\rightarrow$ oldと変形した時(m' = more or less), 左図において変形結果few $\rightarrow Q'$ を得る。

(変形のステップ3)

本ステップにおいては、以下の変形を行う。

Q' old residents are heavy is true.

$\Leftrightarrow$ some few old residents are heavy is TT

右図において、 $Q' \rightarrow$ some fewと変形した時、左図において変形結果true $\rightarrow$ TTを得る。

(ルールベースの推論ステップ)

右図において、 $\tau_{A \Rightarrow B} = \text{true}$, τ' を用いて推論結果 τ'' を求めた後、左図において、 $\tau B = \text{true}$ を τ'' により真理値限定し、最終的な推論結果 $\tau B'$ を得る。

推論結果は、また以下のように直観的に理解することができる。(変形のステップ1)において、very old $\rightarrow$ oldと変形した時、 Q' は拡大化されることが直観的にわかる[6]。(変形のステップ3)において、 $Q' \rightarrow$ some fewと集中化する変形を与えた時、TTはtrueを拡大化する変形を受けることが直観的に分かる。従って、 $\tau A = \text{very true}$ であることから、適合度 τ' はmore or less trueを拡大化したものとなる事が分かる。結果として、推論結果 τ'' はmore or less trueを拡大化したものとなり、最終的な推論結果 $\tau B' = \text{more or less true}$ を求めることができる。

$\tau B' = \text{not almost absolutely false}$

から、推論結果は以下ようになる。

Many old residents are sick

is not almost absolutely false.

推論の詳細を図3に示すとともに、以下に概略を示す。

図3 例3の推論ステップ

・例3

以下の知識命題(IF... THEN... ルール)に対し、入力命題が与えられた場合の推論結果を示す。

(入力)

Few very old residents are very heavy is true.

(ルール)

IF some few old residents are heavy is very true

THEN many old residents are sick is true.

この場合、入力命題を以下のように変形する。

Few very old residents are very heavy is true.

$\Rightarrow$ some few old residents are heavy is TT

次に、入力命題とルール前件部命題との適合度 τ' を求める。

$\tau' = \int TT / (\text{very true})$

次に、ルールの真理値ファジィ集合を求めて推論を行い、 τ'' を求め、 τB を真理値限定して $\tau B'$ を求める。

(変形のステップ1)

本ステップにおいては、以下の変形を行う。

Few very old residents are very heavy is true.

$\Rightarrow Q'$ old residents are very heavy is true

右図において、very old $\rightarrow$ oldと変形した時($m' =$ more or less), 左図において変形結果few $\rightarrow Q'$ を得る。

(変形のステップ2)

本ステップにおいては、以下の変形を行う。

Q' old residents are very heavy is true

$\Leftrightarrow Q''$ old residents are heavy is true

右図において、very heavy $\rightarrow$ heavyと変形した時($m =$ more or less), 左図において変形結果 $Q' \rightarrow Q''$ を得る。

(変形のステップ3)

本ステップにおいては、以下の変形を行う。

Q" old residents are heavy is true

⇔some few old residents are heavy is TT

右図において、Q"→some fewと変形した時、左図において変形結果true→TTを得る。

(ルールベースの推論ステップ)

右図において、 $\tau_{A \Rightarrow B} = \text{true}$, τ' を用いて推論結果 τ'' を求めた後、左図において、 $\tau_B = \text{true}$ を τ'' により真理値限定し、最終的な推論結果 τ_B' を得る。

推論結果は、また以下のように直観的に理解することができる。(変形のステップ1)において、very old→oldと変形した時、Q' は拡大化されることが直観的にわかる[6]。(変形のステップ2)において、very heavy→heavyと変形した時、Q"は拡大化されることが直観的にわかる[4],[5]。(変形のステップ3)において、Q"→some fewと集中化する変形を与えた時、TTはtrueを大きく拡大化する変形を受けることが直観的に分かる。従って、 $\tau_A = \text{very true}$ であることから、適合度 τ' はmore or less trueを大きく拡大化したものになることが分かる。結果として、推論結果 τ'' はmore or less trueを大きく拡大化したものとなり、最終的な推論結果 $\tau_B' = \text{not almost absolutely false}$ を求めることができる。

上記変形例において、最終的な推論結果 τ_B' を比較すると、次の大小関係が成り立つことが分かる。以下、最終的な推論結果を各々 $T_{\text{例1}}$, $T_{\text{例2}}$, $T_{\text{例3}}$ として示す。

$$T_{\text{例3}} > T_{\text{例1}} > T_{\text{例2}}$$

従って、ファジィ主語、ファジィ述語、真理値限定詞を同時に変形した例3の場合、推論結果は最も大きな変形を受けることが分かり、自然な推論結果が得られる。次に、ファジィ述語と真理値限定詞を変形した例1と、ファジィ主語と真理値限定詞を変形した例2の場合とでは、例1の場合の方が、より大きな変形を受けることが分かる。例2の場合、推論結果は量限定強度Rの値に依存するが、一般的に量限定強度Rの値が大きいほど推論結果は変形を受けにくいためである[6]。ここではファジィ量限定詞fewを用いているので、 $R=2$ と設定している。より弱い強度のファジィ量限定詞(例えばsome few等)の場合は、Rの値がより小さくなるため、より大きな変形を受けるので、また異なった結果になることが予想される。これらの結果は全て直観に一致している。

5. 他の含意関数の場合の推論結果

第4章においては含意関数としてルカシビッツの場合を考えたが、ここでは他の場合も含めて考える。

含意関数としては、様々のものが提案されているが、ここでは以下に述べる7種のものを考える[12]。

- (1) $1 \wedge (1-a+b)$; ルカシビッツの含意関数
- (2) $(a \wedge b) \vee (1-a)$; 2値論理の拡張
の含意関数(その1)
- (3) $a \wedge b$; マムダニの含意関数
- (4) $\begin{cases} 1 \dots a \leq b \\ 0 \dots a > b \end{cases}$; レシュアールの含意関数
- (5) $\begin{cases} 1 \dots a \leq b \\ b \dots a > b \end{cases}$; ゲーデルの含意関数
- (6) $(1-a) \vee b$; 2値論理の拡張
の含意関数(その2)
- (7) $\begin{cases} 1 \dots a \leq b \\ \frac{b}{a} \dots a > b \end{cases}$; Lファジィ論理の含意関数

これらの含意関数につき、式(1)を使用して、含意関数 $I(s, t)$ の部分を上記関数に置き換えて、ルールの真理値ファジィ集合を求める。

ルールの後件部命題の真理値ファジィ集合がtrueで、ルールの前件部命題の真理値ファジィ集合が、true, very true, more or less trueの3つの場合、およびルールの後件部命題の真理値ファジィ集合がvery true, more or less trueで、ルールの前件部命題の真理値ファジィ集合がtrueの2つの場合、計5つの場合につきルールの真理値ファジィ集合を求めた、結果を表1に示す。

表1から分かるように、ルカシビッツの含意関

表1 様々な含意関数におけるルールの真理値

$a \Rightarrow b$	$\tau_{\text{true/true}}$	$\tau_{\text{very true/true}}$	$\tau_{\text{more or less true/true}}$	$\tau_{\text{true/very true}}$	$\tau_{\text{true/more or less true}}$
$1 \wedge (1-a+b)$	true	true	true	very true	more or less true
$(a \wedge b) \vee (1-a)$	true	true	(2*)	(3*)	more or less true
$a \wedge b$	true	true	more or less true	true	more or less true
$\begin{cases} 1 \dots a \leq b \\ 0 \dots a > b \end{cases}$	(1*)	(1*)	(1*)	(1*)	(1*)
$\begin{cases} 1 \dots a \leq b \\ b \dots a > b \end{cases}$	true	true	true	very true	more or less true
$(1-a) \vee b$	true	true	true	very true	more or less true
$\begin{cases} 1 \dots a \leq b \\ \frac{b}{a} \dots a > b \end{cases}$	true	true	true	very true	more or less true

(1*) $\tau(0) = \tau(1) = 1, \tau(a) = 0$ for $0 < a < 1$

(2*) $\tau(x) = x$ for $0 \leq x < 0.5$, $\tau(x) = \sqrt{x}$ for $0.5 \leq x \leq 1$

(3*) $\tau(x) = x^2$ for $0 \leq x < 0.5$, $\tau(x) = x$ for $0.5 \leq x \leq 1$

数, ゲーデルの含意関数, 2 値論理の拡張の含意関数 (その 2), L ファジィ論理の含意関数の 4 個の含意関数の場合, 結果は同一となる. いずれも, ルール後件部の真理値ファジィ集合が, ルールの真理値ファジィ集合となることが分かる.

マムダニの含意関数の場合は, ルールの前件部命題, 後件部命題の真理値ファジィ集合の内, 限定のあいまい真理値ファジィ集合 (つまり, グレード値の大きな方の真理値ファジィ集合) となることが分かる. また, この場合ルールの真理値ファジィ集合の定式化から分かるように, 前件部命題と後件部命題の真理値ファジィ集合を入れ替えても値は同一となる. ルールの真理値ファジィ集合は, 上記 4 個の場合に比べ, より大きな値をとる. つまり, 真理値限定がよりあまくなる.

2 値論理の拡張の含意関数 (その 1) の場合には, $\tau_{\text{more or less true} \Rightarrow \text{true}}$ と $\tau_{\text{true} \Rightarrow \text{very true}}$ の値において上記含意関数の場合と異なる. この時ルールの真理値ファジィ集合は, 前件部命題の真理値ファジィ集合と後件部命題の真理値ファジィ集合を折衷した値をとる.

レシュアアの含意関数においては, ルールの真理値ファジィ集合が 0 以外のグレード値をとるのは, 真理値が 0 および 1 の時のみである. この関数形は, 直観に一致する推論結果をもたらさないと考えられるため, これ以外の含意関数を使用すべきと考えられる.

一般的に, どの含意関数が最適であるか決定するのは困難であるが, レシュアアの含意関数を除く上記 3 種の含意関数においては, いずれも $\tau_{\text{true} \Rightarrow \text{true}} = \text{true}$ となり, modus ponens を満たしており, さらに 3 章にて述べたように, 概ね直観に一致した推論結果をもたらす. ただし, 具体的に使用する場合には, 最適なものを選択し使用する必要が有ると考えられる.

推論において, 入力命題とルール前件部命題の適合度が単調増加であると仮定すると, ルールの真理値ファジィ集合のグレード値が大きい程, 推論結果も大きなグレード値をとることになるので, 最終的な推論結果の大小関係をまとめると, 以下ようになる.

$$T(\text{Lukasiewicz}, \text{Goedel}, \text{Extended 2-value}(2), L\text{-fuzzy logic}) \\ \leq T(\text{Extended 2-value}(1)) \leq T(\text{Mamdani})$$

6. 結論

以上, ファジィ量限定詞および真理値限定詞を含む自然言語命題における IF... THEN... ルールベースの推論方法を提案し, 適用例において推論過程の詳細を示した. また, 様々な含意関数の場合につき, ルールの真理値ファジィ集合を求め, その時の推論結果につき

考察を加えた. 本手法による推論結果は, 直観とも概ね一致しており, 本手法の有効性を示すことができた.

参考文献

- [1] J. F. Baldwin, "A New Approach to Approximate Reasoning Using a Fuzzy Logic," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 2, pp. 309-325 (1979).
- [2] 塚本, "あいまい推論," 計測と制御, Vol. 22, No. 1, pp. 139-145 (1983).
- [3] 水本, "ファジィ推論法," システムと制御, Vol. 28, No. 7, pp. 436-441 (1984).
- [4] 岡本, 田野, 岩谷, 井上, "ファジィ限量子を含む自然言語命題の推論方法," 日本ファジィ学会誌, Vol. 7, No. 4, pp. 809-825 (1995).
- [5] 岡本, 田野, 井上, 藤岡, "ファジィ量限定子を含む言語命題における真理値限定に基づく制約と推論方法について," 日本ファジィ学会誌, Vol. 8, No. 3, pp. 519-531 (1996).
- [6] 岡本, 田野, 井上, 藤岡, "ファジィ量限定子および真理値限定子を含む言語命題の推論方法について," 電子情報通信学会論文誌 (A), vol. J80-A, no. 9, pp. 1527-1545, Sept. (1997).
- [7] 岡本, 田野, 井上, 藤岡, "ファジィ量限定詞および真理値限定詞を含む自然言語命題に対する 4 ステップの推論方法," 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol. 15, No. 2, pp. 230-238 (2003).
- [8] 尾山, 田野, "前提と結論の満たすべき関係から導出されるパラメータ化インプリケーション関数とそのチューニングについて," 日本ファジィ学会誌, Vol. 8, No. 2, pp. 322-334 (1996).
- [9] L. A. Zadeh, "A Computational Approach to Fuzzy Quantifiers in Natural Language," *Comp. and Maths with Appls*, 9, pp. 149-184 (1983).
- [10] 向殿, 野島, "ファジィ推論における直接法と間接法に関する考察," 日本ファジィ学会誌, Vol. 4, No. 2, pp. 325-333 (1992).
- [11] 川瀬, 柳原, "ファジィ推論における間接法について," 電子情報通信学会論文誌 (A), vol. J77-A, no. 3, pp. 530-537, March (1994).
- [12] 田中英夫, "ファジィモデリングとその応用," 朝倉書店 (1990).
- [13] W. Okamoto, S. Tano, A. Inoue, and R. Fujioka, "Rule-based Inference Method for Fuzzy-Quantified and Truth-Qualified Natural Language Propositions," *Proceedings of IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE'06)*, Vancouver, pp. 10195-10202 (2006).

(2006年12月14日 受付)

(2007年 6 月12日 採録)

[問い合わせ先]

〒240-0042 横浜市保土ヶ谷区上星川2-32-21

岡本 渉

TEL: 045-371-6861

FAX: 045-371-6861

E-mail: w_okmt@ybb.ne.jp

著者紹介

おかもと わたる
岡本 渉 [正会員]

1979年早稲田大学理工学部電気工学科卒業。1981年東京大学大学院理学系研究科物理学専攻修士課程修了。同年日本電気(株)入社。マイクロコンピュータの方式設計に従事。1991年12月から1995年3月まで技術研究組合国際ファジィ工学研究所兼務。2000年1月に日本電気退社。早大博士(工学)。ファジィ理論による、あいまい自然言語の意味処理の研究に従事。電子情報通信学会、情報処理学会、人工知能学会、日本知能情報ファジィ学会、IEEE各会員。

たの しゅんいち
田野 俊一 [正会員]

電気通信大学大学院情報システム学研究科
1983年東京工業大学院総合理工学研究科システム科学専攻修士課程修了。同年(株)日立製作所システム開発研究所入社。1990-1991年カーネギーメロン大学客員研究員。1991-1995年国際ファジィ工学研究所。1996年電気通信大学大学院情報システム学研究科助教授。2000-2001年マサチューセッツ工科大学客員研究員。2002年電気通信大学教授。博士(工学)。人工知能、知識工学、自然言語理解、あいまい理論、知的ユーザインタフェースの研究に従事。情報処理学会、人工知能学会、日本知能情報ファジィ学会、言語処理学会、AAAI、IEEE、ACM各会員。

いのうえ あつし
井上 敦司 [非会員]

イースタンワシントン大学コンピュータサイエンス学科
He obtained BS and MS in Computer Science from Eastern Washington University in 1989 and 1990 respectively. He was a researcher at Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd., Japan, from 1990 to 1996. He obtained his Ph.D. in Computer Science and Engineering at the University of Cincinnati in 1999. He joined Department of Computer Science at Eastern Washington University in January, 2002, after he taught graduate and undergraduate computer science courses in Midwest for two and a half years. He is currently active on teaching, thesis advising, curriculum development and applied research of Artificial Intelligence and Cyber Security.

ふじおか りょうすけ
藤岡 亮介 [正会員]

神戸総合速記株式会社
1990年大阪府立大学工学部経営工学科卒。1992年大阪府立大学大学院研究科経営工学専攻博士前期課程修了。同年(株)神戸製鋼所電子技術研究所入所。1994-1995年技術研究組合国際ファジィ工学研究所主任研究員。1996-1998年(株)神戸製鋼所生産技術研究所所属。1998年神戸総合速記株式会社入社。自然言語処理に基づく自治体向け議会会議録検索システムの研究に従事。

A Rule - based Inference Method for Natural Language Propositions Involving Fuzzy Quantifiers and Truth Qualifiers

by

Wataru OKAMOTO, Shun'ichi TANO, Atsushi INOUE and Ryosuke FUJIOKA

Abstract :

In this paper, we propose an IF... THEN... rule-based inference method which is necessary to construct a natural language communication system and an expert system, and so on. The method is referred to how to estimate a truth qualifier $\tau B'$ when an input proposition is "QA are F is τ " and IF... THEN... rule "IF Q'A' are F' is τA THEN Q''A'' are F'' is τB " is given and an inference result is "Q''A'' are F'' is $\tau B'$ " (Q, Q', Q'' : Fuzzy quantifiers, A, A', A'' : Fuzzy subjects, F, F', F'' : Fuzzy predicates, $\tau, \tau A, \tau B, \tau B'$: Truth qualifiers). We propose a method which infers a result proposition "Q''A'' are F'' is $\tau B'$ " for monotone Q's and show concrete application examples of the method. Furthermore we compare the inference results under various implication functions used for getting a truth value fuzzy set of the rule.

Keywords : Natural language, Fuzzy inference, Fuzzy quantifier, Truth qualifier, Modifier

Contact Address : **Wataru OKAMOTO**

2-32-21, Kamihoshikawa, Hodogaya-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 240-0042, JAPAN

TEL : 045-371-6861

FAX : 045-371-6861

E-mail : w_okmt@ybb.ne.jp