アバウト推論：知識の欠落に対応した論理演算系の提案

3P－7

藤本和則　湯川高志　松澤和光　石川勉
NTT情報通信網研究所

1 はじめに

記述された知識に欠落や矛盾があり不完全であっても、人はそれを常識的に解釈し利用することができる。このような人の常識的判断の能力に着目し、論理の常識的な演算を実現するアバウト論理の研究を進めている[1]。本稿では知識が命題論理で記述されているとして、アバウト論理の演算体系を提案する。

2 常識的判断

一般に、推論システムは図1のような構成で与えられる。図1において問題あるいは知識ベースが不完全であると、推論機構は適切な解を導くことが困難となる。

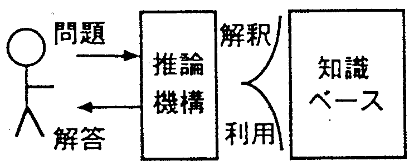

図1　推論システム

そこで、推論機構に不完全な知識を常識的に解釈し利用する機能を取り入れることにする。このような機能について、人が図書を参考に問題を解決する場合を例に考えてみる。人は、まず問題に関する図書で解法を調べる。しかし、自分の抱える問題に完全に合致した解法が記述されていることはまれで、人はそれを自分の問題にあてはめて解決を試みる。適用が困難であれば他の図書をあたり、複数の図書を調べるにしたがって、より完全な解答を得ることができる。

ここでは、このような不完全な知識に対応する人の常識的判断の能力として次の二つに着目する。

柔軟な解釈機能 抱える問題が記述された解法に対して不完全でも、それを適用できる機能

総合的な判断機能 記述された解法自体が不完全であっても複数の解法を集めることによって、その信頼性を得ることができる機能

ABOUT Logic for Incomplete Knowledge
Kazunori FUJIMOTO, Takashi YUKAWA, Kazumitsu MATSUZAWA and Tsutomu ISHIKAWA
NTT Network Information Systems Labs.
3-9-11 Midori-cho Musashino-shi Tokyo 180 Japan

以下では知識が命題論理で記述されているとして、論理の常識的判断の実現を目指すアバウト論理の演算体系を提案する。

3 アバウト論理

命題論理の論理演算では、全ての命題の真偽がわかることが前提であるが、知識の部分性[1]がある場合、真か偽かわからない命題を扱う必要がある。アバウト論理は命題に関し知と未知を扱うことのできる論理演算系である。具体的には論理式(命題を含む)W の知の度合を帰結度とし、帰結度を与える関数を$E: W \to [0,1]$とする。ここで、帰結度0は完全な未知、帰結度1は完全な知をそれぞれ表す。また、Wに与えられた帰結度の信頼性の度合を確信度とし、確信度を与える関数を$C: W \to [0,1]$とする。

3.1 柔軟な解釈機能

複数命題の論理積からなる論理式は、真偽が未知の命題が含まれていても、それぞれの命題の"知"の分だけは帰結できるとする。n命題の論理積 W $(X_1 \wedge \cdots \wedge X_n)$ の帰結度$E(W)$ に関する境界条件として次の三つが考えられる(以下$i = 1,\ldots,n$)。

完全な知　$\forall X_i$, $E(X_i) = 1 \Rightarrow E(W) = 1.$
完全な未知　$\forall X_i$, $E(X_i) = 0 \Rightarrow E(W) = 0.$
知の増加性　$\forall X_i$, $E(X_i) \geqq E(Y_i)$
$\Rightarrow E(X_1 \wedge \cdots \wedge X_n) \geqq E(Y_1 \wedge \cdots \wedge Y_n).$
(等号は$\forall i$ にて $E(X_i) = E(Y_i)$ のときに限る)

この条件を満足する式として、次式が考えられる。

$$E(W) = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i E(X_i) \qquad (1)$$

但し、α_i $(i = 1,\ldots,n)$ は正の実数で、

$$\sum_{i=1}^{n} \alpha_i = 1 \qquad (2)$$

このα_iを命題X_iの論理式Wへの影響度と呼ぶ。影響度は"多くの命題の帰結に関与する命題の影響度は相対的に小さい"という仮説に基づいて知識全体の構造から次のように定める。

$$\alpha_i = \frac{I(X_i)}{\sum_{k=1}^{n} I(X_k)} \qquad (3)$$

但し、 $I(X_i) = -\log_2\{\frac{N(X_i)}{N}\}$

N :知識ベースが保持する全命題数

$N(X_i)$:命題X_iが帰結に関与する全命題数

なお、ベイズの定理を用いた推論[2]では、事後確率をサンプルからの推定値あるいは人の主観値として与えるが、アバウト論理の影響度は保持する知識の構造から与える点が本質的に異なる。

また、複数命題の論理和からなる論理式は、一つでも"知"の命題が含まれていれば、それによって帰結できるとする。n命題の論理和 W $(X_1 \vee \cdots \vee X_n)$ の帰結度$E(W)$ としては、X_1からX_nの帰結度の最大値をとる次式が考えられる。

$$E(W) = \max(E(X_1), \cdots, E(X_n)) \tag{4}$$

3.2 総合的な判断機能

複数命題の論理和からなる論理式は、それぞれの命題の帰結度が共に大きければ、帰結について信頼性が高いとし、この度合を確信度として表す。n命題の論理和 W $(X_1 \vee \cdots \vee X_n)$ の確信度$C(W)$ に関する境界条件として次の三つが考えられる(以下X_kは最大の帰結度をとる命題とする)。

基準設定 X_kを除く $\forall X_i$, $E(X_i) = 0$

$\Rightarrow C(W) = E(W).$

信頼の増加性 X_kを除く $\forall X_i$, $E(X_i) \geqq E(Y_i)$

$\Rightarrow C(X_1 \vee \cdots \vee X_n) \geqq C(Y_1 \vee \cdots \vee Y_n).$

信頼の十分性 $\exists X_i, E(X_i) = 1 \;\Rightarrow\; C(W) = 1.$

この条件を満足する式として、次式が考えられる。

$$C(W) = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - E(X_i)) \tag{5}$$

4 適用例

ここではアバウト論理の簡単な動物当て問題への適用例を示す。いま、動物に関する知識として図2のような9個のルールが与えられており、問題としてトラの特徴に関して欠落のあるファクトが次のように与えられた場合を考える。

{体毛がある,鋭い歯をもつ,鋭い爪をもつ,

ネコ科である,黒縞がある}

このときのアバウト論理の演算結果を図3に示す。

図3は図2をネットワーク表現したもので、ノードは命題、アークは論理関係をそれぞれ表す。また、網かけの命題はファクトとして与えられた命題を表す。

r1 ほ乳動物である ← 体毛をもつ∧胎生である
r2 ほ乳動物である ← 授乳をする
r3 肉食動物である ← 肉を食べる
r4 肉食動物である
　← ほ乳動物である∧鋭い歯をもつ∧鋭い爪をもつ
r5 有蹄動物である ← ほ乳動物である∧ひずめをもつ
r6 トラである ← 肉食動物である∧黄褐色である∧黒縞がある
r7 トラである
　← ほ乳動物である∧ネコ科である∧黄褐色である∧黒縞がある
r8 チータである ← 肉食動物である∧黄褐色である∧黒斑点がある
r9 チータである
　← ほ乳動物である∧ネコ科である∧黄褐色である∧黒斑点がある

図 2　動物に関する知識

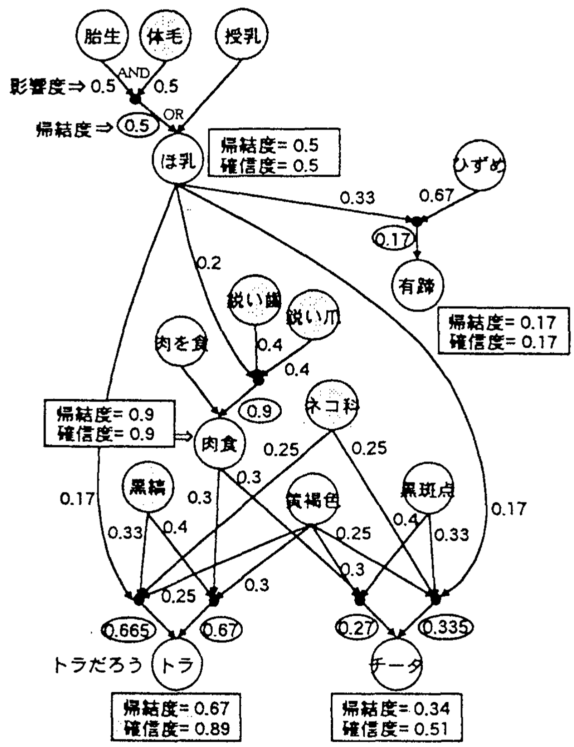

図 3　演算結果

図3の演算結果より、問題として与えられたファクトに欠落があっても、帰結度、確信度ともに大きな値をとる"トラ"が解であろうと判断することができる。

5 おわりに

本稿では論理の常識的判断の実現へ向けて、命題の知と未知を扱うアバウト論理の演算体系を提案した。今後は理論的な位置付けを重点的に研究していく予定である。

参考文献

[1] 松澤他, "アバウト推論：柔らかな推論方式の基本構想",第47回情処全大,3P-6,1993.

[2] Pearl,J., "Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems:Networks of Plausible Inference",Morgan Kaufmann,1988.