

限定された時間内での直感にあった解の序列化に対する考察

広沢 誠

(財) 新世代コンピュータ技術開発機構 (ICOT)

1 はじめに

現在の計算機による推論システムは、Logical Omniscience の問題を抱えている [1]。これは、原理的には解ける問題も、実際には推論に利用できる時間が限られているために解けないという問題である。一方、人間は日常生活において、限られた時間の中でもそれなりに、問題を解決している。

では、なぜ人間は限られた時間内の問題解決を行うことができるのであろうか？それは、知り得るすべての知識を用いずに、問題解決に必要なと思われる限定した知識のみを用いて推論（以下、知識限定推論と呼ぶ）をするからである。推論のために切り出す知識の量は推論に利用できる時間にあわせて調節される。

知識限定推論は、答が正しくない可能性があるという問題がある。しかし、この論文では答が誤答があることを認め、誤答率を低く抑えることが重要であるという立場をとる。この立場は、一見、近似的なものであると見えるが、これは常識推論を念頭に置くことと妥当な立場であるとみなせる。ある知識を用いて誤答率 0 の推論結果も、追加された知識により間違ひとなりえるからである。

Logical Omniscience の他に、現在の推論システムには、解の適切な序列化が直感にあうようにできていないという問題がある。できることは、最初に求まった解が適切な解であるとする（CF 値）を利用した推論でも同様である。

ここでは、知識限定推論を用いて、限定された時間内で、直感にあった解の序列化を行う方法を提案する。この推論方式をRIO (Realtime reasoning with Intuitional Ordering) 呼ぶことにする。

2 知識限定推論

知識限定推論において知識を限定するために、過去の問題解決にどれだけ関連しているかを示す指標を各知識に与える。これを値を Awareness [2] と呼び、0 から 1 の値を採るとする。この値が大きいほど知識が分岐に沿っている、すなわち、問題解決に有効な知識として問題解決機が強く意識 (Aware) しているとする (Awareness の与え方、更新の仕方についての基本的なアイディアについては [2] を参照のこと)。ここで、知識限定推論は、Awareness が 閾値以上の知識だけを用いた推論であると定義する。

知識限定推論において知識とその Awareness を表すために aw という述語を用いる。 aw は第 2 引数で第 1 引数である知識の Awareness を表すことにする。例を以下に示す。ここで、 ab は、常識推論でたびたび用いられる例外を示す述語であり、 $not(abl(X))$ は、 $abl(X)$ の Negation as Failure としての否定である。

```
aw( bird(tweety), 0.9).
aw( ab(tweety), 0.5).
aw( ( fly(X):- ( bird(X),not(abl(X))) ) ), 1 ).
```

3 推論方式 (RIO)

知識限定推論を用いて限定された時間内で解を複数求め、これらの解の序列化を、直感にあうように行う推論方式を説明する。これをRIO (Realtime reasoning with Intuitional Ordering) と呼ぶ。

RIOは、時間が許す限り多くの Awareness の閾値を用いた知識限定推論を行い、各知識限定推論の結果を用いて解の序列化を行う。以

下、解の序列化の方法を述べた後に、この方式の正当性を示す。そして、第 4 章において、限定された時間内に複数の知識限定推論（時間限定推論）を行う方法とRIOの制限時間依存性について述べる。

3.1 解の序列化の方法

複数の知識限定推論を行った後に以下の Criterion により、解の序列化を行う。知識限定推論の解を表 3.1 のように Awareness の閾値が高い順に並べる。

Criterion1 閾値が最小の知識限定推論において解であるものがRIOの解である。

Criterion2 以下、RIOの解が、知識限定推論の解でない状態から知識限定推論の解である状態へ遷移する時の Awareness の閾値（正の遷移閾値）と、RIOの解が、知識限定推論の解である状態から知識限定推論の解でない状態へ遷移する時の Awareness の閾値（負の遷移閾値）を用いて解の序列化を行う。より前の Criterion が優先する。

Criterion2-1 最初の正の遷移閾値がより高い（最初から知識限定推論の解である場合が一番遷移点が高いとする）解がより適当な解である。

Criterion2-2 最後の正の遷移閾値がより高い解がより適当な解である（以下、" がより適当な解であるという " 記述を省略する）。

Criterion2-3 最初の負の遷移閾値がより低い解

Criterion2-4 最後の負の遷移閾値がより低い解

Criterion2-5 最初から 2 番目の正の遷移閾値がより高い解

Criterion2-6 最後から 2 番目の正の遷移閾値がより高い解

Criterion2-7 最初から 2 番目の負の遷移閾値がより低い解

Criterion2-8 最後から 2 番目の負の遷移閾値がより低い解

Criterion2-9 以下同様

常識推論においてよく用いられる $fly(X)$? という問題を例にして解の序列化を説明する。各知識限定推論において、飛ぶことに対するデフォルト知識や、例外を示す知識 (ex. $ab(tweety)$) を意識しているかにより tweety などの個体は飛んだり飛ばなかったりする。

Awareness の閾値	知識限定推論の解	解の適切さ
0.8	tweety	
0.6	tweety,yuki,patty	yuki, patty
0.4	tweety,yuki, lucy,charlie	lucy, charlie
0.2	patty,lucy	
0.0	yuki,patty,lucy,charlie	

表 3.1 知識限定推論とこれら結果を用いた解の序列化

まず、Criterion1 により、解候補は、yuki,lucy,patty,charlie となる。次に、Criterion2-1 により yuki と patty を lucy と charlie より適切な解であると判断する。さらに Criterion2-2 により yuki を patty、lucy を charlie より適切な解であると判断する。すなわち、Criterion1, Criterion2-1, Criterion2-2 までを用いて、 $fly(X)$? の解を適切な順に yuki,patty,lucy,charlie と序列化することができた。

3.2 序列化方式の正当性

上記の Criterion は、より常識的な解をより適切な解となるようにする Criterion であることを説明する。上記の例において、閾値が 0.6, 0.4, 0.0 の場合に見える知識の View を図 3.1 に示す。* が付いているものが、普通の場合に飛ぶものである。説明を若干加えると、例えば、閾値 0.6 の知識限定推論において飛ばなかった lucy は、閾値 0.4 では“lucy は翼のある動物であるという知識”か、“翼のある動物は飛ぶという知識”を意識 (aware) したために、飛ぶことになる。

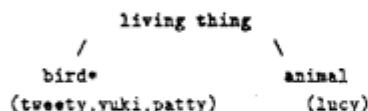


図 3.1-1 閾値 0.6 における View

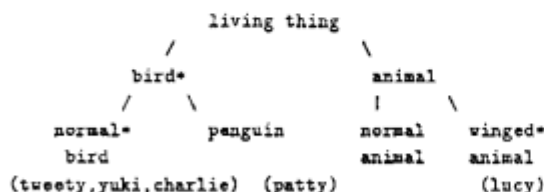


図 3.1-2 閾値 0.4 における View

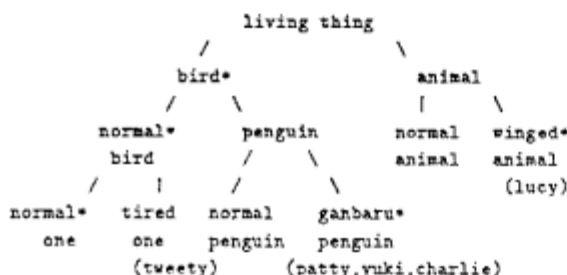


図 3.1-3 閾値 0.0 における View

まず、Criterion2-1 は、より focus された View において解であると分かった解がより適切な R I O の解であるという判断基準である。これは、より常識的な解がより適切な解であるという意味である (yuki や patty が鳥であることにより飛ぶこと [閾値が 0.6] は、lucy が翼のある動物であることにより飛ぶこと [閾値が 0.4] より常識的である)。

そして、Criterion2-2 は、より focus を広げた View より知識限定推論の解として定着したものが、より適切な R I O の解であるという判断基準である。これも、より常識的な解がより適切な解であるという意味である (lucy が翼根がある動物であることにより飛ぶこと [閾値が 0.4] のほうが、Charlie ががんばるペンギンであることにより飛ぶこと [閾値が 0.2] より常識的である)。

このように、R I O が行う解の順序化の方法はより常識的な解をより適切な解とするという意味付けができる。この意味で、我々の直感にあった方法であるといえる。

4 R I O の制限時間依存性

4.1 制限時間に依存した知識限定推論

推論時間が無限にある場合には、十分な数の知識限定推論を行うことができるが、実際には有限の時間を有効に活用できるように知識限定推論の計画をする必要がある。規定時間が分かっており、推論時間が

知識の量によりある程度は予測できる場合には、まず、R I O の答えを正しいものにするために、できるだけ閾値が低い知識限定推論を (例えば、規定時間の 8割を用いて) 行う。そして、その後、R I O の序列化を詳細にできるように、知識限定推論を計画するという戦略を採用できる。予測をできない場合には、閾値の高い知識限定推論から徐々に行う戦略 (一種の iterative deepening [3]) をとる [2] [4]。

4.2 解の制限時間依存性

制限時間により、R I O の解の序列化の詳細さと、解の正確さが変わってくる。図 3.1 を例にして、説明をする。Case1 を全ての知識限定推論ができた場合、Case2 を Awareness の閾値が 0.8, 0.4, 0.0 の知識限定推論ができた場合、Case3 を Awareness の閾値が 0.4 の知識限定推論のみができた場合であるとする。

まず、Case1 では、lucy と charlie の序列化ができていないのに対して、Case2 では 閾値が 0.2 の知識限定推論を行えなかったため、この序列化ができていなかった。これにより、解の序列化の詳細度は、R I O の制限時間と正の依存関係があることが分かる。そして、Case1 では、tweety が解でないと判断できなかったのに対して、Case3 では閾値が 0.2 or 0.0 の知識限定推論を行えなかったため、誤って tweety を R I O の解としてしまった。これにより、解の正確さも、R I O の制限時間と正の依存関係があることが分かる。

5 確信度 (CF) を用いた計算との関係

R I O と同様に、重み付けされた知識を用いて計算する方法に確信度を用いて計算する方法がある。しかし、確信度の演算について多くの方法が提案されているが、どれも直感的に説得力が有るものではない。解の確信度も同様である。

また、人間の思考では、確信度の演算を行っているわけではない。推論時の制約の範囲内で推論に使える知識を用いて確信度付きでない推論を行っているのである。このように確信度を用いて推論する方法は、数学的位置付けはできているが、人間の直感を反映していない。

これに対して、R I O は、推論に用いる知識の範囲を限定して推論を行い、知識の focus 等を推論に利用できる時間にあわせて調節している。また、より常識的な解をより適切な解としている。このように、R I O は、方式自体の数学的位置付けはできていないが、より人間の直感を反映した推論方式であるといえる。

6 おわりに

限定された時間内での問題解決と、直感にあった解の序列化を行う方式である R I O を提案した。R I O は、Criterion として、“より常識的な解をより適切な解である”というものを使用している。そして、R I O では、解の序列化の詳細さと解の正確さが、推論に利用できる時間と正の依存関係があることを示した。さらに、R I O は、確信度を用いて推論する方法とは異なり数学的位置付けはできていないが、より直感を反映している推論方式であることを示した。

参考文献

- [1] Fagin, R and Halpern, J.Y. "Belief, Awareness, and Limited Reasoning", Artificial Intelligence 34(1988) 39-76
- [2] 広沢 誠 "ABR — 常識情報を用いた推論方式の提案", 情報処理学会第 39 回全国大会論文集 (1989)
- [3] Stickel, M.E. "A Prolog Technology Theorem Prover: Implementation by an Extended Prolog Compiler", Journal of Automated Reasoning 4(1988) 353-380
- [4] 有馬、石川 "任意時間推論", ICOT TM835(1990)