

# 論理の多段化による知識リフォーメーションに基づく 仮説推論の高速化手法

5R-8

高間康史 大澤幸生 石塚満

東京大学工学部電子情報工学科

## 1 はじめに

常に成立する知識（背景知識）に加え、矛盾の可能性などをもつ知識（仮説）も扱うことのできる仮説推論は、診断問題や設計問題などの実際的な問題へ直接的に適用できる実用性を兼ね備えた有用な枠組みである。しかし、仮説推論は非単調推論の一つであるため、推論速度が遅いことが実用上最大の問題であり、これまでにその解決策が様々に提案されてきた。

本研究では、仮説推論の問題の複雑さは知識ベースの構造が決定しているとの観点から、論理式の多段化を用いて知識ベース中の論理式を变形することによる仮説推論の高速化を行う。知識ベースは命題ホーン説によって表現されたものを対象とし、ゴールが与えられてからの実時間処理として多段化処理を行うものとする。実際に従来の仮説推論システムの前処理として適用したところ、良好な結果が得られた。以下に、その手法について報告する。

## 2 仮説推論システム

まず最初に、仮説推論の概要について簡単に記しておく。知識ベースを、背景知識（対象世界で常に成り立つ知識）の集合 $\Sigma$ 、仮説（対象世界で常に成り立つとは限らない知識）の集合 $H$ に分ける。

---

Speedup of Hypothetical Reasoning based on  
Multiple-Level Logical Knowledge Reformation  
Yasufumi Takama, Yukio Osawa, Mituru Ishizuka  
University of Tokyo  
7-3-1 Hongo, Bunkyo, Tokyo 113, Japan

ゴールを $g$ とすると、仮説推論とは以下を満たす解仮説 $h$ を見いだすことである。

- $h \subseteq H$  ( $h$ は $H$ の部分集合)
- $\sum U_h \vdash g$  ( $\sum U_h$ から $g$ が証明される)
- 上記の3条件を満たす $h'(h' \subset h)$ は存在しない

ホーン節では論理否定を陽に表現できないため、知識ベース中では次のように書き表すことにより矛盾を取り扱うことにする。

- $inc \leftarrow a, b.$  ( $a$ と $b$ が同時に成り立つ場合は矛盾)

## 3 知識ベースの構造と推論速度との関係

仮説推論は非単調推論であるため、一般に知識の規模（仮説数）に対して指数オーダーで推論時間が増加するといわれているが、同じ仮説数であっても、知識の構造によっても推論速度は大幅に異なる。prolog等の推論木でトップダウンに推論を行う方法では、同じノードが何度も木の中に現れるような場合推論時間は増加する。また、NBP[1]のようにネットワーク構造で知識を表現する推論システムではグラフ密度によって推論速度が異なり、特に単結合ネットワークのとき線形時間で厳密解が得られる。しかし、実用上重要な、矛盾を含んだり、同一の命題が複数のホーン節の前件部に現れる知識ベースではグラフが単結合でなくなる。このような知識ベースをリフォーメーションにより簡単化することは、推論の高速化に直接結びつく。

本研究は、ゴールを証明するために必要な知識の構造をできる限り小さくすることにより推論速度の

高速化を図るものである。多段化処理とは背景知識中の各命題を論理式とみなして因数分解を行うことであり、例えば、以下のような命題  $a$  を論理式と見なせば、

$$a=bc+bd=b(c+d)$$

と因数分解出来るので、新たな命題  $n$  を導入して次のような変形を行うことが出来る。

$$\begin{array}{|l} \hline a:-b,c. \\ a:-b,d. \\ \hline \end{array} \Rightarrow \begin{array}{|l} \hline a:-b,n. \\ n:-c. \\ n:-d. \\ \hline \end{array}$$

このような処理は LSI の設計における多段論理回路合成 (簡単・最適化) の手法と同様であり、論理式中のリテラル数の減少が、知識ベースの構造の単純化に対応している。

## 4 多段化処理の実現方法

本研究では命題ホーン節で表現された知識ベースを対象とし、ゴールが与えられてからの実時間処理として多段化処理を行う。システムは以下のように3つのフェーズに分けられる。

1. 背景知識を、前件部が論理和で表される命題の集合 (KB1) とそれ以外の命題の集合 (KB2) に分け、KB2 の各命題を KB1 に代入して展開処理を行い、その結果矛盾となる命題やゴールの証明に関係しない命題は KB1 から除去する。
2. KB1 の命題について多段化処理を行う。
3. 多段化の結果、ゴールの証明に関係しない命題、仮説を除去する。

第1フェーズは多段化処理の能力を十分に生かす為に必要な処理であり、前件部が論理和で表される命題を代入しないことにより知識ベースの増大を抑えている。第2フェーズには、多段論理回路の合成及び最小化を行うシステムである MIS[2] を用いた。

我々の手法により、次のような知識リフォーメーションが行える。

$$\begin{array}{|l} \hline g:-a. \\ a:-b,c,e. \\ a:-b,d,f. \\ d:-e. \\ \hline \end{array} \Rightarrow \begin{array}{|l} \hline g:-a. \\ a:-b,e,n. \\ n:-c. \\ n:-f. \\ \hline \end{array}$$

ここで、 $g$  はゴール、 $b, c, e, f$  は仮説である。この例では仮説  $e$  と  $b$  が2回ずつボディ部に現れていたのが、多段化処理により全ての命題が前件部に1回ずつしか現れなくなっている。

## 5 実験結果

以下に、準最適解を高速に求める推論システムである NBP[1] の前処理として本手法を適用した実験結果を記す。N は命題数、Density はグラフ密度である。以下の結果において、解は得られた時は全て最適解であった。ネットワーク構造が複雑なため推論に失敗していた知識ベースがリフォーメーションにより推論可能になる等の効果がみられる。

N	20	10
Density[%]	0.3025	6.1224
CPUTIME(before)[s]	0.01	Failure
CPUTIME(after)[s]	0.00	0.01

## 6 まとめ

仮説推論のネックとなっている推論速度を向上させる一手法として、本稿では論理式が多段化処理を用いた知識ベースの変形手法について報告した。実際に仮説推論システムの前処理として適用した結果、特に構造が複雑で推論時間がかかったり、推論が失敗するものについてはかなり良好な結果が得られている。

今後は、さらに大きな知識ベースへの適用を行ったり、各命題間の冗長性の除去等の改良を加えていく予定である。

## 参考文献

- [1] 大澤, 石塚, "多項式時間仮説推論を達成するネットワーク化バブル伝播アルゴリズム", 信学技報, AI92-76(1992-11)
- [2] Brayton R.K., Sangiovanni-Vincentelli A. and Wang A.R., "MIS: A Multiple-Level Logic Optimization System", IEEE Tran. Compu.-Aided Des. CAD-6.6. pp1062-1081(1987-11)