

5 G - 8

ネットワーク化バブル伝播法による 述語版仮説推論システムの構築

福田 茂紀 石塚 満

東京大学 工学部 電子情報工学科

fukuta@miv.t.u-tokyo.ac.jp

1 本研究の目的

コストに基づいた仮説推論は、知識処理において重要な枠組である。しかし現在、コンピュータによる仮説推論は、その低い実行速度が最大の問題点である。矛盾する可能性を持つ知識をもとに推論を行なう仮説推論では、最適な仮説集合を求めるために、知識の数に対して指数オーダーの計算量が必要とされるからである。そこで、最適な仮説集合に近い準最適解を、多項式オーダーの計算量で求めるシステムが必要になる [石塚 96]。

ネットワーク化バブル伝播法はこの準最適解を多項式時間で求めることができる有効な推論手法であり、これまでに述語知識への適用も図られてきたが、複雑な機構であった [大澤 95]。

ここでは演繹データベースの QSQR 法を、ネットワーク化バブル伝播法などの高速な命題論理の仮説推論システムと組み合わせて述語知識へ適用する方法、並びに実装したシステムについて述べる。

2 QSQR 法について

2.1 QSQR 法を用いる理由

QSQR 法 [西尾 88] は、演繹データベースで用いられる手法の一つで、効率的にサブゴールを保持し、無駄な計算を省きながら論理的推論を行うことができる。同じ述語を扱う仮説推論システムとして、大澤の述語版ネットワーク化バブル伝播法がある。こちらは、述語引数をノードとして、ネットワーク化バブル伝播法を適用したもので、各述語引数関係をネットワーク化するなど、複雑な操作が必要になる。QSQR 法は、単純な推論器に二つの新たな状態を持たせるだけで実現できるので、より簡単な構造で実現できることが特徴である。

2.2 QSQR 法のアルゴリズム

さて、QSQR 法のアルゴリズムについて詳しく説明する。まず、前準備として、次のように定義する。

EDB 術語: EDB に定義されている術語

IDB 術語: IDB のルールを定義するための術語

ただし、各項目間の具体的な関係、論理プログラムの基底 (引数に変数でない具体化した定数) ファクトの集合を、外延データベース (extensional database: EDB と略記) と呼ぶ。また、ルールの集合 (特に今回は、本体に否定を含まないホーン節のルールを用いる) を、内包データベース (intentional database: IDB と略記) と呼ぶ。また、ホーン節頭部に現れる変数はすべて本体に現れている時、このホーン節を領域制限的と言うが、ここでのルールはこの領域制限的なホーン節のみであるとする。

QSQR 法は二つの状態、Q、L を保持する。状態 Q は、それまでに評価した問い合わせのゴール、サブゴールを保持し、マッチングの時に利用する。また、このときに、 $p(a, X)$ と $p(b, X)$ のように、「術語と、引数の数が同じ」で、「引数の具体値」が違う複数の問い合わせは集合として、 $p(\{a, b\}, X)$ のようにして保持する。

また状態 L は、それぞれの IDB 術語の求まった関係を保持する。これは、すでに計算されたサブゴールの答えに他ならず、補題 (lemma) と見なせる。

ここからがアルゴリズムの本体であるが、最初に Q には問い合わせ自体を、L には空を設定しておく。問い合わせ q を解く関数を $Solve(q)$ とすると、このアルゴリズムは、以下のようになる。

1. 問い合わせ q とマッチするすべてのルールについて、 q の変数束縛を伝播する。このとき、EDB 術語と L を用いる。
2. このルール本体に未評価の IDB 術語がある時、ある選択関数 (大抵は左優先) によって評価する IDB 術語 q' を選び、ここで $Solve(q')$ を再帰的に実行する。
3. ルール本体に未評価の IDB 術語がなくなったら、EDB 術語と L を用いて q を解く。さらに、結果を L に加える。

4. Q や L に状態変化があったなら、最初に戻る。定常状態になったら Q に q を加え、終了。

上述した初期状態から、以上の Solve に問い合わせを解かせるのが QSQR 法のアルゴリズムである。

プロログなどとの違いは、バックトラックなどに伴う同じサブゴールの再計算を防いでいる点にある。これは、アルゴリズムの 1 番目で行われている、変数束縛情報の伝播による。

また、2 番目では、まだ解いていない IDB 術語がある時、これを解くために再帰的に自分を呼び出している。

これがなくなると 3 番目で EDB 術語と L の中の解き終わった（ゴールの証明に必要な）IDB 術語を用いて、目的の（サブ）ゴールを解く。

これまでの計算によって増えた補題から、別の答えが出て来る可能性があるので、4 番目ではそのような時に最初に戻って再計算させるようになっている。

以上により、QSQR 法の行なったことをまとめると、ある推論ノードについて、下位ノードからのすべての解が計算されるのを待つ。これを集合として、AND 関係の兄弟ノードにも伝播して、不要な推論を抑制し、AND 関係の兄弟ノードがすべて解かれた時点で上位ノードに結果を返す、というように動作している。

これは、ゴール指向のボトムアップ推論に行なっている。

2.3 命題論理への変換法

次に、この QSQR 法を用いて述語論理から命題論理への変換を行う手法について説明する。

述語論理では述語の再帰呼び出しを容認しているため、探索が終了する保証がない。そこで、幅優先探索で解の模索をしつつ、あらかじめきめられた、何段かまでの深さを探索した時点で、そこまで得られた探索木を命題論理で表現する。そして、ネットワーク化バブル伝播法などの命題論理の推論システムへ渡し、コスト最小解の探索などを行なわせる。

なお、命題論理で表現するとは、引数の異なる述語をそれぞれ別の命題とし、それぞれの関係を記述していくことである。

この時点で十分な解が得られなかったら、さらに深くまで探索し、最終的な準最適解を得る。

3 QSQR 法の有効な範囲

この述語の展開は、無駄を省いた選択的なエルブラン領域への展開に等しい。そのため、述語の持つ引数の数が大きくなると、展開量は指数的に増大する。つまり、ある程度以上の引数を持つ述語を扱う問題に対しては、適用が難しい。

ただし、単純なエルブラン展開を利用する場合と異なり、このような場合でもそれぞれの引数同士の独立性が低く、述語として成立する引数の組み合わせの種類が少ない場合は、展開量も制限され、十分適用可能になる。QSQR 法による選択的エルブラン展開が最も有効なのは、このような時である。

逆に各引数同士が完全に独立な時は、QSQR 法でも完全にエルブラン領域へ展開するのと等しく、オーバーヘッドの分だけ単純なエルブラン領域への展開に比べて不利になる。

謝辞：本研究は、JIPDEC/ICOT の助成によった。

参考文献

- [石塚 96] 石塚 満：“知識の表現と高速推論，第 6 章”，丸善 (1996)
- [大澤 95] 大澤 幸生：“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法の述語論理への拡張”，人工知能学会誌，vol.10,no.5,pp.731-740(1995)
- [西尾 88] 西尾 章治郎，樟見 雄規：“演繹データベースにおける再帰的な問い合わせの評価法”，情報処理学会誌，vol.29,No.3,pp.240-255(1988)