線形・非線形計画法の併用による高速仮説推論

5P－8

二田 文之 大澤 幸生 石塚 満
東京大学 工学部 電子情報工学科
e-mail: futada, osawa, ishizuka @miv.t.u-tokyo.ac.jp

1 はじめに

1.1 仮説推論について

仮説推論とは真偽の不明な事柄（仮説）について取り敢えず真であると考えて推論を進め，ゴールが証明できればその仮説が正しかったものと考え，ゴールを導くことができない場合はその仮説は誤りであり別の仮説を考える，という形式の推論方式である．このような推論により，知識ベースに不完全な知識を含めることができるため知識ベースの能力や汎用性を高めることができ，診断，設計といった実用的な問題にも応用する事が可能である．

しかし仮説推論では，知識ベースの仮説間の矛盾チェックについて問題規模に対し最悪で指数オーダの時間がかかるため，推論速度の低下が問題となる．推論時間の短縮法としてはこれまでに冗長計算の回避による効率化，近似解法による計算時間の短縮等の方法が提案されてきた[1]．これらのうち0-1 整数計画法の近似解法の利用により準最適解を多項式時間で求める推論法[2]については本研究でも一部を利用しているため，詳細を記述する．なおここで準最適解というのは，ゴールを無矛盾で導く要素仮説の重みの和が必ずしも(最小)最適ではないということである．また知識ベースは，真であることがわかっている背景知識と真偽が不明で互いに矛盾の可能性のある知識からなり，背景知識はホーン節集合で与えられる。これは以降の議論で共通のものとする．

1.2 0-1 整数計画法の応用

0-1 整数計画法の利用では真，偽をそれぞれ１，０に対応させ and ,or を例えば以下の例のように置き換えることで問題を解く．

1. $p = q_1 \vee \cdots \vee q_n$
2. $p = (q_1 \wedge \cdots \wedge q_n) \vee r$

$$\Downarrow$$

1. $\frac{q_1+\cdots+q_n}{n} \leq p \leq q_1 + \cdots + q_n$
2. $\frac{q_1+\cdots+nr-(n-1)}{2n} \leq p \leq \frac{q_1+\cdots+q_n+nr}{n}$

上のすべての不等式を満たす０-１整数解で値が１のものの集合が解仮説集合である．

整数計画法はNP-完全であるため，我々は上式を実数の線形計画法に拡張し重み（目的関数）を最小にする要素仮説の組を単体法で求め，その後その近傍について調べ準最適解を得る．本研究ではこの部分について文献[3]，[4]によって提案されている非線形関数を利用する．

2 非線形計画問題への置き換え

文献[3],[4]では SAT の問題を非線形最適化問題に置き換える手法を提案している．以下にその手法の要点をまとめる．

- 真，偽をそれぞれ１，－１に対応させる．
- 仮説 $x_i, \overline{x_j}$をそれぞれ$(x_i - 1)^2, (x_j + 1)^2$と書換える．
- and,or をそれぞれ＋，×に置き換える．

上の置換えで得られた非線形関数を最小（＝０）とする仮説集合が求めるべき解となっている．

(例)

$$(\overline{x_1} \vee x_3) \wedge (x_1 \vee \overline{x_4}) \wedge (\overline{x_2} \vee x_3 \vee x_4)$$

$$\Downarrow$$

$$\begin{aligned}&\min_{x \in R^4} F(\vec{x})\\&= (x_1+1)^2(x_3-1)^2 + (x_1-1)^2(x_4+1)^2\\&\quad + (x_2+1)^2(x_3-1)^2(x_4-1)^2\end{aligned}$$

Fast hypothetical reasoning system using
linear and non-linear programming methods
Tomoyuki Futada, Yukio Ohsawa, Mitsuru Ishizuka
Dept. of Information and Communication Engineering,
Faculty of Engineering, The University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113, JAPAN

3 本研究の線形・非線形計画法を併用する手法

3.1 推論の手順

文献[3),4)]では初期値をランダムに与えている. 本研究においては, まず仮説推論の問題を線形計画問題に置き換えて解き, その単体法による実数解を初期値として使う事により探索の高速化及び準最適解の探索の2点の実現をはかる.

実際の具体的な処理を以下に説明する.

1. まず初期値を単体法で定める.
2. 多変数のニュートン・ラプソン法を使い, 新しい探索点を定める.
3. 各変数について値が0以下であれば-1に,0より大きければ1に値を定め. 式の値が0(制約が充足可能)であれば探索を終了する. それ以外の場合は2へ戻る.
4. 上のループを適当な回数(例えば100000回)繰り返しても解が得られない場合は探索を終了する.

3.2 実行結果と評価

上記の手法を用いて実際に問題を解いた場合の実行時間, 及び得られた解のコスト(要素仮説の重みの和)を図1に示す. 表中'-'は100000回探索を行っても解を得る事ができなかった場合を表している. またルール数とは, 与えたホーン節の数の事である.

図1の結果より, 以下のような点が特徴としてあげられる.

- 問題規模と探索時間にはそれほど密接な関係は無く, 初期値に大きく依存する.
- 比較的規模の小さい問題でもかなり時間がかかってしまう場合があり, 探索を速めるための工夫が必要であろう.
- 問題によってはこの手法だけでは解けないものもあり, 何らかの改善が必要である.

4 おわりに

本研究の提唱する準最適解計算の高速仮説推論手法についての現状を示した. この手法については初期値が最も重要なファクターである. 従って今後3.2節に記したような問題点を解決するために初期値の与え方を中心に探索方向の決定法, 極小解に落ち着いてしまった時の回避法を考え, 更に解が存在しない場合の高速な判定法についても調べる予定である.

図1: 探索時間及びコスト

データ	ルール数	探索時間	コスト
data01	11	0.00s	4
data02	15	7.18s	2
data03	17	6.97s	6
data04	21	51.47s	5
data05	27	-	-
data06	32	-	-
data07	59	0.09s	4
data08	68	0.11s	2
data09	9	0.00s	2
data10	10	0.14s	4
data11	16	2.76s	2
data12	25	-	-
data13	24	0.05s	8
data14	34	0.17s	16
data15	47	0.15s	30
data16	74	-	-
data17	49	0.03s	4
data18	11	0.00s	2
data19	13	0.01s	2
data20	19	3.74s	2
data21	28	-	-
data22	30	0.04s	8
data23	40	0.22s	16
data24	65	-	-

(Sun Sparc Station 10 上)

参考文献

1) 石塚: 仮説推論の計算量と高速化メカニズム, 人工知能学会誌, Vol.9, No.3, pp.342-349 (1994.5)
2) 大澤, 石塚: 仮説推論における準最適解を多項式時間で計算するネットワーク化バブル伝搬法, 電子情報通信学会論文誌 D-2 Vol.j77-D-2, No.9, pp.1817-1829 (1994)
3) J.Gu: Local Search for Satisfiability (SAT) Problem, IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, Vol.23, No.4, pp1108-1129 (1993)
4) J.Gu: Global Optimization for Satisfiability Problem, IEEE TRANSACTIONS ON KNOWLEDGE AND DATA ENGINEERING, Vol.6, No.3, pp.361-381 (1994)