2J－2

線形・非線形計画法を用いた仮説推論での極小解への捕獲からの回避法

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 ‡大阪大学基礎工学部システム工学科
e-mail: futada@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. $p \leftarrow q_1 \vee \cdots \vee q_n$
2. $p \leftarrow (q_1 \wedge \cdots \wedge q_n) \vee r$

$$\Downarrow$$

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．

また文献[5]では，重みつきのアブダクション問題で以下のような変換を行うことで，ランダムに生成した問題の97%を単体法のみで解けることを示している．

1. $p \leftarrow q_1 \vee \cdots q_n$
2. $p \leftarrow q_1 \wedge \cdots q_n$

$$\Downarrow$$

1. $p \leq q_1 + \cdots + q_n$
   $p \geq q_i \qquad (i = 1, \cdots, n)$
2. $p \geq q_1 + \cdots q_n$
   $p \leq q_i \qquad (i = 1, \cdots, n)$

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．我々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している[6]．

2 非線形計画問題への置換え

2.1 置換え手法

文献[3],[4]ではSATの問題を非線形最適化問題に置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+，×に置換える．

Methods to avoid a local minimum
on fast hypothetical reasoning system
using linear and non-linear programming methods
Tomoyuki Futada, Yukio Ohsawa, Mitsuru Ishizuka
Dept. of Info. & Commun. Eng., Univ. of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113, JAPAN

以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)

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

$$\Downarrow$$

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

2.2 線形・非線形計画法を併用する手法

2.2.1 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．我々は[6)]において，まず仮説推論の問題を線形計画問題に置換えて解き，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点の実現をはかった．

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．

上の手法では，探索点が極小解に落ち着いてしまうと解を得ることができないという問題点があった．これを改善することが，今回の目的である．

3 極小解への捕獲からの回避

3.1 探索中における極小解の判定

[6)]では探索時間の短縮の為，各探索において探索点での目的関数の実数値は求めていない．各探索でこれを求めても極小解への捕獲の判定にしか使う事ができず，計算コストの観点からあまり有効ではないと考えていたためである．

しかし極小解の判定は実数値を計算するのが最も効率的であるため，極小解への捕獲が頻繁に起こっているのであれば,1回の探索での計算コストは犠牲にしても全体の速度の向上を実現できる可能性がある．これについては与える問題にもよると予想されるが，複数の問題について実数値を実際に計算して移動する場合と計算しないで何回かごとに必ず移動を行う場合について比較を行う．

3.2 探索点の移動

探索点を現在の点から飛ばす手法については以下の2通りを主に考えている．

1. 0とならない項の変数からランダムに選んだ1変数を，反対方向に移動させる.(正の値の場合は-1，負の値の場合は+1に移動)
2. 目的関数の局所的な構造を調べ，それにより移動ルールを定める．

2についてはルールの設定によってはループに陥ってしまう可能性がある為，ループを判定して終了させる必要がある．

4 おわりに

線形・非線形計画法を用いた仮説推論での極小解への捕獲からの回避について示した．

この他，解の改善について文献[2)]では解を得た後，コストを下げる操作を行っている．これは得られた解仮説集合の各要素について，その仮説を用いなくてもゴールが導くことができるかを確認し，可能であればその仮説を解から外すことで解の改善を行う手法である．本手法でもこの改善手法は有効であると考える．

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)
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)
5) Sntos Jr, E.: A linear constraint satisfaction to cost-based abduction, Artificial Intelligence Vol.65, pp.1-27 (1994)
6) 二田，大澤，石塚: 線形・非線形計画法の併用による高速仮説推論，情報処理学会第50回全国大会 5P-8 (1995)