シンプレックス法に基づく仮説推論システム

5C-8

伊藤史朗，　石塚　満
（東京大学）

1．はじめに

我々は、不完全な知識を扱うことができる次世代知識ベースシステムの有用な枠組みとして、仮説推論システムの研究を続けてきている。仮説推論を行なうシステムとしては、Prologをベースとするシステムの他に、数理計画法を適用するシステムを考え、このシステムは推論の高速化を実現する可能性のあることを示唆した[1]。

さらに我々は、推論を行なう知識の適用範囲をホーン節に限定することにより、効率的に仮説推論を行なうシステムを考えたので報告する。

2．仮説推論システムと推論効率

我々は、仮説推論システムのベースとなる演繹推論として論理を採用している。論理に基づく仮説推論では、知識として、対象世界で常に成り立つ知識の集まりである完全知識集合Ｆと、対象世界で常に成り立つとは限らない知識の集まりである不完全知識集合Ｈを持っている。ここで、ある観測事実Ｏが与えられたとき、

$$h \subseteq H \qquad (1)$$

$$F \cup h \vdash O \qquad (2)$$

$$F \cup h \nvdash \square \qquad (3)$$

であるような仮説ｈを求めることが、仮説推論の目的である。

仮説ｈは、不完全知識集合の中から知識を組み合わせて仮説を生成し、Ｆ∪ｈで表わされる公理系が観測を導くかどうかの検査（(2)式）と、公理系が無矛盾であるかの検査（(3)式）を行ない、検査を満足するものを仮説とすることにより求められる。ここで推論の効率化を図るには、仮説の生成段階でテストに失敗する仮説を生成しないようにすることと、テストの効率を上げることが重要となる。

Prologをベースとしたシステムでは、証明木の中で完全知識だけではサブゴールが証明されないとき、サブゴールにマッチする仮説要素が生成される。その上で、証明を進めることにより観測の証明への寄与を検査する。またこれとは別に、仮説要素が生成される毎に、公理系が矛盾を示すゴールを証明しないかどうかを調べている。これらの検査は、さらに証明木の探索をしていることになりそのコストは高い。

A Hypothetical Reasoning System
based on Simplex Method
Fumiaki ITO, Mitsuru ISHIZUKA
Univ. of Tokyo

3．シンプレックス法にによる意味論的推論

命題論理式を、代数不等式に等価変換して数理計画法を用いることにより、意味論的推論が行える[1)2)]。一般には、この方法では整数計画問題を解くことになるが、扱う知識をホーン節に限定すれば線形計画問題を解くことで十分であることが証明されている[2)]。その具体的な手法としては、双対問題による方法が知られている[3)]。

本システムでは、この双対問題による方法に基づいているので、まず本節でこの演繹推論法について説明する。

一般的に、節形式の命題論理式は、等価な代数不等式に変換できる。特殊な場合として、ホーン節だけを扱うとき、双対問題に特別な意味を持たせるため、各要素式P_jと変数x_jの対応付けで、P_jが真ならばx_jは０を、偽ならば１を値として取るようにする。

前述の対応付けのもとでは、以下に示す(4)式の命題論理式と(5)式の不等式は等価である。ここで、1は正のリテラルの添字、Ｊは負のリテラルの添字の集合である。

$$P_1 \vee (\bigvee^{J} \neg P_j) \qquad (4)$$

$$(1 - x_1) + (\sum^{J} x_j) \geq 1$$
$$x_j \in \{0,\ 1\} \quad j \in J \cup \{1\} \qquad (5)$$

この変換を用いると、前提がｍ個の節から作られているとき、前提は、

$$A x \geqq a$$
$$x_j \in \{0,\ 1\} \quad j=1, \cdots, n \qquad (6)$$

というｍ個の不等式で表される。前提中に現れる要素式の数をｎ個とすれば、Ａはｍ×ｎの行列、ｘはｎ行の列ベクトル、ａはｍ行の列ベクトルになる。ただし、不等式の左辺の定数項は全て右辺に移項されている。

また、結論がある要素式P_kのとき、結論は、

$$-x_k \geqq 0 \qquad (7)$$

という不等式で表わされる。

ところで、「前提からの結論の演繹」の意味論的定義を考えると、全ての、(6)式を満たすような変数への値の割当のもとで、必ず(7)式が満足されることが演繹の成功であるといえる。

従って、前述の前提、結論のもとでの演繹推論は(7)式の左辺を目的関数とし(6)式を制約条件式とした、

$$\text{minimize} \quad -x_k$$
$$\text{subject to} \quad A x \geqq a$$
$$x_j \leqq 1 \quad j=1, \cdots, n \qquad (8)$$

という線形計画問題を解き、最適解の値が０であるかを調べることにより行える。

演繹が成功するときは、前提の不等式の各式の適当な線形和を取ることにより、$-x_k \geqq 0$が導かれる。この線形和の各式の重みは、元の線形計画問題の双対問題の最適解に相当する。従って、双対問題を解くと、演繹推論が行えるとともに、各式が演繹に寄与したかどうかもわかる。なぜならば、線形和の重みが０である式は演繹には不要だからである。

また、前提が矛盾を含む場合は、(6)式を満たす可能解が存在しない。このとき、双対問題では最適解が発散することになる。

4．シンプレックス法に基づく仮説推論システムの構成

本システムでは、線形計画問題の解法として、シンプレックス法を用い、前節で説明した手法を、仮説推論のベースとなる演繹推論機構に利用している。

この方法では、知識は(6)式の形で扱うので、公理系は係数行列として与えられる。公理系の基となる完全知識、不完全知識の知識ベースも、これに応じた係数行列として保持する方がよいので、従来のProlog形式の知識との変換機構が用意される。また、観測の入力、推論結果の出力をProlog形式で行なうためのインタフェースも用意される。（図１）

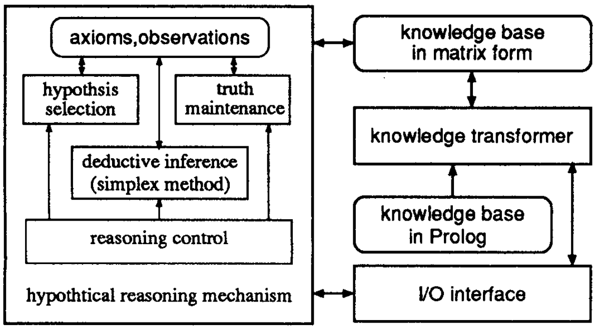

図１　システム構成

仮説推論は、次のようにして行なわれる。

STEP1 完全知識中のfact型知識は、変数の値が定まるのでこれを各式に代入する。代入によって新たにfact型知識が生成されなくなるまでこれを繰り返す。

STEP2 公理系を完全知識だけから構成する。

STEP3 (8)式における観測に相当する目的関数を与えて、公理系を制約条件式とする線形計画問題の双対問題を解く。

STEP4 観測が証明される、すなわち最適値が０となれば終了。最適解において０でない値をとっている変数に対応する不完全知識の集合を仮説とする。最適値が－１のときは、シンプレックス乗数として現れる反例を、公理系に含まれていない不完全知識集合に順に代入していき、満足されない不等式を新たに公理系に加えてSTEP3に向かう。条件を満たす不等式がないときは終了、観測は証明されない。最適解が発散するときは、バックトラックして不等式を入れ換えてSTEP3に向かう。

STEP1は、完全知識中のfact型知識は、必ずその要素式が真であることを意味していることを用いて、予め他の知識中からこの要素式を除去することに相当する。従って、Prologに基づくシステム等、一般的に利用できる方法である。

２節で指摘したように、仮説要素の検査の効率が仮説推論システムの効率に影響を与える。本システムでは、ある仮説要素が観測の証明に寄与するかどうかを、仮説要素の生成段階において不等式の評価という計算コストの低い方法で実現している。これは、意味論的推論では、観測を証明するためには反例を除去するような知識を公理系に加えていけばよいことに基づいている[1]。

この検査をパスした仮説要素であっても、その後別の仮説要素が公理系に加わることで、最終的には観測の証明に寄与しなくなることもある。しかし、この場合最適解においてこの仮説要素に対応する値は０となり観測の証明に寄与していないことが判るので、仮説から取り除くことができる。従って、仮説は最低限必要な知識から構成されることが保証される。

公理系が矛盾を含むときは、双対問題の最適解は発散するので、無矛盾性のチェックも別のチェックを必要としないで行える。矛盾が生じたときは、バックトラックにより矛盾を解消させている。しかしこの推論法では、矛盾を引き起こしている不完全知識の要素の組合せが、矛盾の発生時に直ちに求まるので、矛盾管理は簡単になる。

また、STEP3の計算で、新たな仮説要素の追加時では、前回の最適解に変数を１個追加したときの変化を求めるだけであり、コストの高い始めからの問題を解くことは、最初の１回で済む。このことからも、推論の効率化が期待できる。

5．まとめ

数理計画法による推論法をホーン節の仮説推論のベースとなる演繹推論機構に採用することにより、仮説推論の効率化が期待できることを示し、そのシステム構成を述べた。

現在システムのインプリメント中である。

<参考文献>

1)伊藤、石塚：　数理計画法の適用による仮説推論システムの高速化、情報処理学会第38回全国大会、2F-4, pp.422-423 (1989)

2)J.N.Hooker: A Quantitative Approach to Logical Inference,　Decision Support Systems 4, pp.45-69 (1988)

3)R.G.Jeroslow, J.Wang: Dynamic Programming, Integral Polyhedra and Horn Clause Knowledge Base,　ORCA J. on Computing, Vol.1, No.1, pp.7-19 (1989)