

不確定論理データベースを対象とした仮説推論

5R-9

島尻 優香 加藤 昇平 世木 博久 伊藤 英則
名古屋工業大学

1 はじめに

仮説推論の研究に関しては、その理論的枠組の提案、効率的な推論システムの実現方法、並びに診断・設計問題などへの応用など、多くの研究結果が報告されている [1]。我々は、すでにホーン節で表現された論理知識ベースを対象とした仮説推論の効率化手法について提案した [2]。そこで、本稿ではより表現力の高い不確定論理データベースを対象とした仮説推論について述べる。

不確定論理データベースのような非ホーン節 (non-Horn 節) 集合を対象とした推論方法として最近提案された定理証明系 SATCHMORE [3] がある。本研究では、SATCHMORE で導入されている“関連性 (relevancy)” の概念を仮説推論に適用することを考える。

不確定論理データベースに対する問合せの答としては、“真 (true)”、“偽 (false)”、“不定 (unknown or possibly true)” の三つが考えられる。そこで、SATCHMORE のような充足可能性を調べる定理証明系では区別されることのない“偽”と“不定”を仮説推論においては判別する処理を行なわなければならない。本稿ではその際の処理においても関連性の概念を用いることにより、冗長な OR 分岐の抑制ができることを示す。

2 仮説推論の定式化

本研究で用いる仮説推論は、Poole による定式化 [4] に従う。つまり、常に成立する知識 (事実) を \mathcal{F} 、観測された事象を \mathcal{O} 、候補仮説の集合を \mathcal{H} とすると、 $\mathcal{F} \cup h \vdash \mathcal{O}$ 、 $\mathcal{F} \cup h \not\vdash \mathcal{O}$ を満たすような \mathcal{H} の部分集合 h を求めることであるといえる。

事実 \mathcal{F} は、以下のような節の集合とする。

$$A_1 \vee \dots \vee A_m \leftarrow \\ B_1 \wedge \dots \wedge B_n \wedge ML_{n+1} \wedge \dots \wedge ML_{n+l} \quad (*)$$

ただし、各 A_i, B_j, L_k ($m \geq 0, n \geq 0, l \geq 0$) はアトムである。上式において、 $m = 0$ のときは、特に一貫性制約と呼ぶ。また、 $L_k \in \mathcal{H}$ であり、 ML_k は、

Hypothetical Reasoning in Disjunctive Logic Databases
Yuka Shimajiri, Shohei Kato, Hirohisa Seki and Hidenori Itoh.
Nagoya Institute of Technology.
Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466, Japan

アトム L_k が \mathcal{H} の要素であることを示すために導入した特別な記号である。以下では、節の後件部に現れる変数は、必ず前件部にも現れるという領域制限 (range-restricted) 節を対象とする。

また、不確定論理データベースへの問合せは $\leftarrow \mathcal{O}$ (\mathcal{O} は基底アトム) なる負節で与えられる。それに対する答えとしては、次のような真、偽、不定の3通りが考えられる。

- (i) 真... $\mathcal{F} \cup h$ のすべてのモデル M_i に対して $\mathcal{O} \in M_i$ である h が存在するとき。
- (ii) 不定... (i) でなく、 $\mathcal{F} \cup h$ のあるモデル M_i に対して $\mathcal{O} \in M_i$ である h が存在するとき。
- (iii) 偽... どのような h に対しても $\mathcal{O} \in M_i$ となる $\mathcal{F} \cup h$ のモデル M_i が存在しないとき。

ここで、 P を節集合、 A を基底アトムとすると、 $\exists h \subseteq \mathcal{H} P \cup h \vdash A$ が成立することを、 $P \vdash_{\mathcal{H}} A$ と表記する。

3 仮説推論

\mathcal{F} はホーン節集合 P_{01} と非ホーン節集合 $P_{>1}$ に分けられる (つまり $\mathcal{F} = P_{01} \cup P_{>1}$)。仮説推論の方法としては、SATCHMORE と同様 P_{01} には後向き推論、 $P_{>1}$ には前向き推論を用いる。この前向き推論を行なう部分にゴール指向性を持たせるために、関連性 [3] の概念を用いる。ただし、[3] において導入された関連性の定義を仮説推論向きに、次のように変更する。

“関連のあるアトム (relevant atom)” とは以下のように再帰的に定義される。 I を基底アトムの集合とすると、アトム B が、 $P_{01} \cup I$ に対して関連があるとは、

- (i) B は、 $P_{01} \cup \{\leftarrow \mathcal{O}\}$ の各負節に対してそれを根とする $P_{01} \cup I$ における SLD 反駁木について、そのすべての有限失敗枝における選択されたアトムである、あるいは
- (ii) (*) なる形の節 $C \in P_{01}$ が存在し、ある A_i が関連のあるアトムであるとき、 B は C の前件部に含まれている。

のいずれかの条件を満たしていることをいう。このとき C を部分関連 (partial relevant: 以下 PR) である

節と呼ぶ。また、条件(ii)で、すべての A_i が関連のあるアトムであるとき、 C を全関連 (total relevant: 以下TR) である節と呼ぶ。

次に、 A をアトム、 $H \subseteq \mathcal{H}$ を仮説集合としたとき A/H を仮説つきアトムと呼ぶ。また、仮説つきアトムの集合 I とホーン節集合 P_{01} と(*)なる形の非ホーン節 C から、仮説つきアトムの選言を得る関数 $F(P_{01}, I, C)$ を次のように定義する。

$$F(P_{01}, I, C) = A_1/H \vee \dots \vee A_m/H$$

$$\text{ただし } \forall B_j \exists H_j \in \mathcal{H} \quad P_{01} \cup I \cup H_j \vdash B_j$$

$$H = H_1 \cup \dots \cup H_n \cup \{L_{n+1}, \dots, L_{n+i}\}$$

また、(*)なる形の節 $C \in P_{>1}$ が $P_{01} \cup I$ に対して違反 (violated) 節であるとは、 $\forall B_j \quad P_{01} \cup I \not\vdash B_j$ かつ $\forall A_i \quad P_{01} \cup I \not\vdash A_i$ が成り立つことをいう。

以下に推論の流れを示す。アルゴリズム中の $TR(I)$ (および $PR(I)$)は、 $P_{01} \cup I$ に対して $TR(PR)$ である違反節の集合を表す。

入力：観測 \mathcal{O} 、事実 $\mathcal{F} = P_{01} \cup P_{>1}$ 、仮説集合 \mathcal{H}
出力：問合せに対する答 Ans

```
function ic-check( $\mathcal{O}, S$ )
   $S$ から仮説集合を生成し、その無矛盾性の検査を行
  ない、答 (true, false, unknown のいずれか) を返す。
begin
   $S_0 := \{\phi\}$ ;
   $i := 0$ 
  while  $\forall I_i \in S_i$ 
    ( $P_{01} \cup I_i \vdash_{\mathcal{H}} \mathcal{O}$  or  $TR(I_i) \neq \phi$ ) do ... (c1)
  foreach  $I_i \in S_i$  do
    begin
      if  $TR(I_i) \neq \phi$  then
        begin
           $C \in TR(I_i)$ を一つ選ぶ;
           $A_1/H \vee \dots \vee A_m/H := F(P_{01}, I_i, C)$ ;
           $S_{i+1} := S_i \cup \{A_k/H \cup I_i \mid 1 \leq k \leq m\} - I_i$ ;
        end
       $i := i + 1$ 
    end
  if  $\forall I_i \in S_i \quad P_{01} \cup I_i \vdash_{\mathcal{H}} \mathcal{O}$  then
     $Ans := ic-check(\mathcal{O}, S_i)$ ;
    return  $Ans$ 
    % true, false, unknown のいずれかが返る。
  else
    while  $\exists I_i \in S_i$ 
      ( $P_{01} \cup I_i \vdash_{\mathcal{H}} \mathcal{O}$  or  $PR(I_i) \neq \phi$ ) do ... (c2)
    begin
      if  $\exists I_i \in S_i \quad I_i \cup P_{01} \vdash_{\mathcal{H}} \mathcal{O}$  then
        begin
          ic-check( $S_i$ );
           $Ans := ic-check(\mathcal{O}, S_i)$ ;
          return  $Ans$ 
          % false, unknown のいずれかが返る。
        end
       $C \in PR(I_i)$ を一つ節を選ぶ;
       $A_1/H \vee \dots \vee A_m/H := F(P_{01}, I_i, C)$ ;
       $S_{i+1} := S_i \cup \{A_k/H \cup I_i \mid 1 \leq k \leq m\} - I_i$ ;
       $i := i + 1$ 
    end
  return  $Ans := false$ 
end
```

アルゴリズム中の ic-check(S)は、仮説つきアトムの集合 I の集合 S から、仮説の集合 $h \subseteq \mathcal{H}$ を生成し、その h に対して無矛盾性の検査を行ない、2で示した定義に従って、 Ans に答を返す関数である。

ある仮説つきアトムの集合 I に対して、TRな節が存在しない($TR(I) = \phi$)とき、どのような $h \in \mathcal{H}$ を選んでも $\mathcal{F} \cup h \cup \neg \mathcal{O}$ が充足可能であること、つまり、真ではないことが分かる。これは、上アルゴリズムにおいて(c1)の条件にあたる。

しかし、TRは充足可能性の判定を目的としているので、 $\mathcal{F} \cup h \cup \neg \mathcal{O}$ が充足可能であるとき、偽であるか、不定であるかの判別は行えない。そこで、TRを用いた計算で充足可能であることが判明した後に、TRを少し緩和したPRを用いて、偽または不定の判別を行なう。

PRは、 $P_{01} \cup I_i \vdash_{\mathcal{H}} \mathcal{O}$ を満たす I_i を生成するときの \mathcal{O} に無関係な計算を回避するための方向づけに利用している。また、 $PR(I_k)$ によって、 $P_{01} \cup I_i \vdash_{\mathcal{H}} \mathcal{O}$ となる $I_i (i \geq k)$ の存在を効率的に確認することができる。 $PR(I_k) = \phi$ のときは、 $P_{01} \cup I_i \vdash_{\mathcal{H}} \mathcal{O}$ を満たす I_i は生成される可能性はなく、答は偽となる。これは、上アルゴリズムにおいて(c2)の条件にあたる。

つまり、TRによって“真”と“偽”“不定”を、PRによって“偽”と“不定”を判別している。

4 まとめ

本稿では、不確定論理データベースに対する仮説推論方式を考察し、非ホーン節で前向き推論を行なう部分でTR、PRの概念を用いることにより問合せに無関係な計算をせずに、“真”、“偽”、“不定”の判別が効率的に行なえることを示した。

参考文献

- [1] 井上 克己. アブダクションの原理. 人工知能学会誌, Vol.7, No.1, pp.48-59 (1992)
- [2] S.Kato, H.Seki and H.Itoh. An Efficient Abuductive Reasoning System Based on Program Analysis. *Proc. of the 3rd Intl. WSA. LNCS*, Vol.724, pp230-241 (1993)
- [3] D.W.Loveland, D.D.Reed and D.S.Willson. SATCHMORE : SATCHMO with RElevancy. Technical Report CS-1993-06, Duke University (1993)
- [4] D.Poole. A Logical Framework for Default Reasoning. *Artificial Intelligence*, Vol.36, pp27-47 (1988)