5L－9　自己認識的データベースの基礎検討

森 有一　馬場口 登　手塚 慶一
大阪大学　工学部

1．まえがき

近年，論理型言語の発展と相まって，演繹データベース［1］［2］への関心が高まっている．演繹データベースは，事実を意味する個々のデータと，データの関係に関する知識から構成され，その関係を使ってデータベースには直接記述されていないデータを演繹推論により導き出すことができる．しかし演繹推論は，完全な知識のみを対象とし，例外を含む知識などの不完全な知識を扱うことができない．よって演繹推論を越える推論方式を導入することが，データベースを高度化する重要な鍵の一つとなろう．

そこで本稿では，非単調論理の一つである自己認識論理［3］により定式化される自己認識推論（Autoepistemic Reasoning）を用いて，不完全な知識に対する問合せを実現する自己認識的データベースＡＥＤＢ（Autoepistemic Database）を提案する．

2．自己認識論理の概要

ＡＥＤＢは自己認識論理の表現形式・意味論を利用している．自己認識論理は古典的論理の体系に様相記号Ｌを加え拡張することによって，先に得られた結論が無効となりうる非単調推論を定式化した論理である．自己認識論理によって定式化される推論は，自己認識推論と呼ばれ，自分自身の信念の状態を把握しているエージェントの推論をモデル化したものである．

さて自己認識論理における重要な概念に安定拡張世界（Stable Expansion）があり，エージェントが予め持っている前提から自己認識推論により得られる結論と見なすことができる．安定拡張世界は以下のように定義できる．

《定義》（安定拡張世界）
前提の集合をＡ，Ａの安定拡張世界をＴとする．Ｔは以下の条件を満足する自己認識論理式の集合である．

$$T = \{\tau \mid A \cup \{L\phi \mid \phi \in T\} \cup \{\neg L\phi \mid \phi \notin T\} \vdash \tau\}$$ ■

さて先にも述べたが，自己認識推論を行うためには，安定拡張世界を求める必要がある．命題自己認識論理は決定的であり，安定拡張世界の構成手続きに関する成果がいくつか示されている［4］．しかしＡＥＤＢの対象とする一階自己認識論理は，一般的に非決定的であり，安定拡張世界の構成手続きが存在しない．

3．一階自己認識データベースＡＥＤＢ

ＡＥＤＢは自己認識論理に基づく非単調なデータベースであり，自己の信念を参照して質問に応答する．ここではＡＥＤＢの対象とする世界を制限することにより，知識表現に用いられる一階自己認識論理式を論理的に同値な命題自己認識論理式に変換し，一階自己認識論理の非決定性を回避するという方策をとる．以下ＡＥＤＢの安定拡張世界T_{AEDB}とＡＥＤＢへの問合せの関係について言及する．

3．1．ＡＥＤＢの知識表現

ＡＥＤＢでは，bird(Spanky)のような基礎リテラルで表される事実以外に，「ペンギンは鳥である」といったルールを表す論理式

$$\forall X\ penguin(X) \rightarrow bird(X) \quad \cdots(1)$$

や，「鳥は通常飛ぶ」といった例外を含む知識を表す論理式

$$\forall X\ bird(X) \Rightarrow fly(X) \quad \cdots(2)$$

も取り扱う．ＡＥＤＢの知識は，基礎リテラルの集合で表される事実の集合ＥＤＢ(Extensional Database)，(1)，(2)のような論理式で表されるルールの集合ＩＤＢ(Intensional Database)からなる．またＩＤＢは(1)のような完全な知識からなるルールの集合ＩＣＤＢ（Intensional Complete Database）と，(2)のような不完全な知識からなるルールの集合ＩＩＤＢ（Intensional Incomplete Database）からなる．

《定義》（ＥＤＢ）
ＥＤＢは有限個の基礎リテラルの集合である．■

《定義》（ＩＣＤＢ）
ＩＣＤＢは，

$$\forall X\ A_1(X) \wedge \cdots \wedge A_n(X) \rightarrow B(X)$$

のような一階述語論理式の集合である．ただし，上式は表記の簡略化のため単に

$$A_1(X), \cdots, A_n(X) \rightarrow B(X)$$

と表わされる．■

《定義》（ＩＩＤＢ）
ＩＩＤＢは，

$$\forall X\ L(A_1(X) \wedge \cdots \wedge A_n(X)) \wedge \neg L \neg B(X) \rightarrow B(X)$$

のような一階自己認識論理式の集合である．ただし，上式は，表記の簡略化のため単に

$$A_1(X), \cdots, A_n(X) \Rightarrow B(X)$$

と表わされる．■

3．2．ＡＥＤＢの対象とする世界

ＡＥＤＢは，対象とする世界を制限することにより，一階自己認識論理の非決定性を回避する．

ＡＥＤＢは以下の方法で対象とする世界を制限する．

1) ＡＥＤＢは，その公理として領域閉包公理ＤＣＡ（Domain Closure Axiom）を持つ．

ＤＣＡは変数の領域を，出現する全ての定数の集合に制限する公理である．ＡＥＤＢに出現する全ての定数の集合を$\{a_1, \cdots, a_n\}$とすると，

$$DCA : \forall X\ (X = a_1) \vee \cdots \vee (X = a_n)$$

である（＝は等号理論ＥＱを満たす述語記号）．

A Basic Consideration on Autoepistemic Database
Yuichi MORI, Noboru BABAGUCHI, Yoshikazu TEZUKA
Osaka University

2) ファンクションフリーである.

1), 2)より全ての述語の全ての引数は，定数もしくは領域を有限個の定数に制限された変数となる．この制限により，ＩＣＤＢやＩＩＤＢの全称限定された変数を含む式を，論理的に同値な有限個の基礎式（すべての述語のすべての引数が定数であるような式）の集合で表すことができる．このように全称限定された変数を持つような式を，変数の領域内の定数を代入することによって生成されるすべての式に変換することを展開（expand）するという．例えば，変数の領域を $\{a, b, c\}$ し，$\forall X\ p(X) \rightarrow q(X)$を展開すると，

$\{p(a) \rightarrow q(a), p(b) \rightarrow q(b), p(c) \rightarrow q(c)\}$

となる．

3) 単一名仮説ＵＮＡ（Unique Name Assumption ）を仮定する．

ＵＮＡはすべての定数は違うという仮説であり，

ＵＮＡ：$\{a \neq b, a \neq c, \cdots, c \neq d, \cdots\}$

である．

ＵＮＡを仮定すると，全ての基礎リテラルは区別できるので，例えば$p(a) \neq p(b)$のように，各々の基礎リテラルを相異なる命題定数と見なすことができる．

1), 2), 3)の制限により，

ＥＱ∪ＵＮＡ∪ＤＣＡ∪ＥＤＢ∪ＩＤＢ　…(3)

を論理的に同値な有限個の命題式の集合に変換することができる．よって(3)の安定拡張世界は，(3)と論理的に同値な命題自己認識論理式の集合の安定拡張世界を計算することにより，求めることができる．

３．３．ＡＥＤＢへの問合せ

ＡＥＤＢは，安定拡張世界を参照しながら問合せに答える．以下にＡＥＤＢの安定拡張世界を求める手順を示す．なお命題自己認識論理の安定拡張世界の構成手続きの詳細については［４］を参照のこと．

〔ＡＥＤＢの安定拡張世界を求める手順〕

step1：ＥＤＢ，ＩＤＢに出現するすべてのオブジェクト定数の集合ＣＳ(Constant Set)を作成する．

step2：ＣＳを変数の領域として，ＩＣＤＢ，ＩＩＤＢを展開して得られる基礎式の集合ＥＩＣＤＢ（Expanded Intensional Complete Database），ＥＩＩＤＢ（Expanded Intensional Incomplete Database）を求める．

step3：ＥＤＢ∪ＥＩＣＤＢ∪ＥＩＩＤＢのすべての異なる基礎アトムを，異なる命題定数と見なし，ＥＤＢ∪ＥＩＣＤＢ∪ＥＩＩＤＢの安定拡張世界T_{AEDB}を構成する．■

〔ＡＥＤＢへの問合せに対する応答〕

ＡＥＤＢへの問合せの形式は次の２つが想定され，ＡＥＤＢはT_{AEBD}の状態を参照することにより応答する．

case1：問合せが基礎リテラル$p(a)$である場合
(a) $p(a) \in T_{AEDB}$ならば，Ｙｅｓと答える．
(b) $p(a) \notin T_{AEDB}$ならばＮｏと答える．

case2：問合せが$p(X)$である場合（Xは変数）
$d \in$ ＣＳなる全てのdについて，
(a) $p(d) \notin T_{AEDB}$ならば，Ｎｏと答える．
(b) $p(d) \in T_{AEDB}$なるdを答える．■

４．ＡＥＤＢの実例

「鳥は普通飛ぶ」，「ペンギンは飛ばない」，「ペンギンは鳥である」，「Spankyはペンギンである」，「Bekkyは鳥である」というような,知識を表すデータベースを考えてみる．知識は下記のように表現できる．

ＥＤＢ　＝ {penguin(Spanky), bird(Bekky)}
ＩＣＤＢ＝ {penguin(X)→¬fly(X),
　　penguin(X)→bird(X)}
ＩＩＤＢ＝ {bird(X)⇒fly(X)}

まずT_{AEDB}を求める．

step1：ＣＤＢ＝ {Spanky, Bekky} となる．

step2：ＤＩＣＤＢ
　＝ {penguin(Spanky)→¬fly(Spanky),
　　penguin(Spanky)→bird(Spanky),
　　penguin(Bekky)→¬fly(Bekky),
　　penguin(Bekky)→bird(Bekky)}
ＤＩＩＤＢ
　＝ {bird(Spanky)⇒fly(Spanky)
　　bird(Bekky)⇒fly(Bekky)}

step3：T_{AEDB}＝ {penguin(Spanky), ¬fly(Spanky),
　　bird(Spanky), ¬penguin(Bekky),
　　fly(Bekky), bird(Bekky)}

つぎに質問応答を行う．

query1 ：fly(Spanky)？
answer1：fly(Spanky)$\notin T_{AEDB}$より「Ｎｏ」
query2 ：fly(X)？
answer2：fly(Bekky)$\in T_{AEDB}$より「Bekky」

５．まとめ

本稿では自己認識論理を用い，不完全な知識に対する問合せを実現するＡＥＤＢを提案した．また一階自己認識論理における非決定性の問題は，データベースに組み込まれているＵＮＡ，ＤＣＡにより回避できることも示した．今後は質問応答処理の効率化のためLogic Programmingによる導出などを導入していく予定である．

《参考文献》

［１］J. Minker:Foundations of Deductive Databases and Logic Programming, Morgan Kaufmann Publishers, Inc(1987).

［２］勝野裕文 :"演繹データベースの形式的意味論" 情報処理，vol.31, No.2, pp.198-205(1990).

［３］R. C. Moore:Semantical considerations on nonmonotonic logic, Artifical intelligence, vol.25, pp.75-94(1985).

［４］馬場口,森馬,手塚:"命題自己認識論理における拡張世界構成アルゴリズム",情報処理学会論文誌，vol.31, No.7(1990).