ITS における診断知識の極小化と学習者モデル診断

3B－9

松田 昇　　岡本 敏雄

電気通信大学大学院 情報システム学研究科

1 はじめに

問題解決を教授する知的学習支援システム (ITS: *Intelligent Tutoring System*) において，学習者の理解していない知識に対する診断仮説を推論する手法を提案する．ルールベースにより表現された問題解決の知識 (その伝達が教授の目的とされる知識を含む) を一階述語論理の節形式に変換したものを領域の定理とみなす．次に，学習者の振舞い (問題解決過程) からの観察を含めた上で，極小限定の理論を用いてその定理における個々の主張のモデルを極小化する．このように再構成された定理から特定の知識に関する理解状態を一階述語論理における演繹的な証明手法を用いて推論する．

一般に，問題解決の教授においては，学習者から得られる情報が (恣意的な対話を行わない限り) 質問に対する回答の正誤に限られること，および，問題解決の知識を何らかの表現形式で表現することはできても，学習者が実際にどのような知識を適用したのかを把握することができないなどの問題があり，学習者モデル診断を困難にしている．本稿で提案する手法を用いることにより、個々の知識の習得状態に対して，特に「特定のある問題解決の知識を知らない」という仮説を表現した学習者モデルを構築することが可能になる。

2 極小限定による学習者モデル診断

2.1 学習者モデル診断の定式化

極小限定 [2] の理論では，述語 Z の外延を可変にしつつ，与えられた定理 T における任意の述語 F の外延を (極小モデルの意味で) もっとも小さくするように，定理 T を再構成 ($CIRC[T;Z;P]$) する．その上で，T. C. Przymusinski により提案された解導出のアルゴリズム [1] を用いれば，任意の宣言 D に関して，$CIRC[T;Z;P]$ からの論理的帰結を推論することができる．

この性質を利用して、問題解決の教授領域における学習者モデル診断機構を実装する．すなわち，診断のための知識 T を述語論理における定理とみなし，T におけるルール K の解釈を極小化する ($CIRC[T;Z;P]$ の P に相当)．ただし，極小化の過程でルールを記述している述語 G の解釈は可変にする ($CIRC[T;Z;P]$ の Z に相当)．このように，ルールを構成する述語の外延を変化させることにより，ルール K に対する学習者の誤認識 (誤った理解) による不適切なルールの適用を表現することができる．そして，特定のルール K_i に対して，$CIRC[T;Z;P]$ から $\neg K_i$ の導出可能性を計算する．もしも，$CIRC[T;Z;P] \models \neg K_i$ であれば,「学習者はルール K_i を理解していない」という診断仮説が論理的に説明されることを意味する．ここで，$CIRC[T;Z;P]$ に基づく $\neg K_i$ の解導出のアルゴリズムでは、問題の正誤を表現した Pr および $\neg Pr$ が充足可能性を左右する。これは,「任意のルール K_i に関して，それを理解していないかどうかの判断を問題 Pr の正誤に帰着させられる」ことを示している．

以後，診断知識 T は，全て命題論理におけるリテラルの選言として表現する．Pr_i を学習者に出題する課題、K_i を問題解決のルール、G_i をルールを記述する述語とすれば、T は以下のように表現される。

$$
\begin{aligned}
T = \{&{T_E}^1 \vee {T_E}^2 \vee {T_E}^3 \vee {T_E}^4 \vee {T_S}^1 \vee {T_S}^2 \mid \\
&{T_E}^1 \equiv \neg {G^i}_1 \vee \cdots \vee \neg {G^i}_{n_i} \vee G_i, \\
&{T_E}^2 \equiv \neg Pr_i \vee G_i, \\
&{T_E}^3 \equiv \neg K_i \vee G_i, \\
&{T_E}^4 \equiv \neg {G^i}_1 \vee \cdots \vee {G^i}_{n_i} \vee K_i, \\
&{T_S}^1 \equiv \neg Pr_i \vee Pr_j, \\
&{T_S}^2 \equiv \neg {K^i}_1 \vee \cdots \vee \neg {K^i}_{n_i} \vee Pr_i
\end{aligned}
$$

以上をまとめれば，次のようになる．すなわち，領域の定理 T (T_Eは専門家知識、T_S は学習者からの応答) に関して，$P = \{K_i\}$，$Z = \{G_i\}$ とし，T における K_i に関する極小限定を求めれば，システムが与えた複数の問題 Pr の正誤に基づいて，次の質問に答えることができる．

Student Model Diagnosis with Circumscribed Domain Theory, *by* Noboru Matsuda *and* Toshio Okamoto, Graduate School of Information Systems, Univ. of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, Tokyo, 182 Japan,
E-mail: {mazda,okamoto}@ai.is.uec.ac.jp

表 1: ルールの例

```
(K03 ($param _seg1 _seg2 _tri1 _tri2)
     ($preconditions
      (and (:isa _seg1 'SEG)
           (:isa _seg2 'SEG)
           (:isap _tri1 'TRI)
           (:hasp _tri1 _seg1)
           (:isap _tri2 'TRI)
           (:hasp _tri2 _seg2)
           (theorem (cong _tri1 _tri2)) ) )
     ($conseque
      (theorem (equal _seg1 _seg2)
               (reason 'CORR) ) ) )
(K05 ($param _ang1 _ang2 _tri)
     ($preconditions
      (and (:isap _ang1 'ANG)
           (:isap _ang2 'ANG)
           (:isap _tri 'TRI)
           (:baseAngTri _tri _ang1 _ang2)
           (theorem (isosceles-triangle _tri)) ) )
     ($conseque
      (theorem (equal _ang1 _ang2)
               (reason 'BASE) ) ) )
```

1

質問: ルール K_i を正しく理解していない (適切な局面で正しく適用することができない). すなわち, $\neg K_i$.

2.2 学習者モデル診断の例

ここでは, 初等幾何学における定理証明を例にして, 上述した学習者モデル診断の具体的な動きを説明する.

表 1 にルールの例を示す. $param, $preconditions, $conseque は, それぞれ, ルールの引数, 条件部, 結論部を表す. リテラルは引数とともにリストで表現されている. 例えば, リテラル **:isa** は, 2 つの引数を持つ. **theorem** の修飾子を持ったリテラルは, T_E における G (すなわち, $CIRC[T;Z;P]$ の Z) になることを意味する. それ以外のリテラル (名前がコロンから始まっている) は, 学習者にとっては既知であることが仮定されている述語である. すなわち, それらの述語に関して学習者は必ず正しく理解している (もしくは, 認識できる) と仮定されている.

表 1 に示したルールに関連した診断知識 T の一部を表 2 に示す. T_P は, 上述した **:hasp** などの学習者の理解が仮定されている述語に対応した節である.

ここで, $P = \{K_i (i = 01, 02, 03, \ldots)\}$, Z は上述した **theorem** の修飾子を伴った述語, $F = \{\neg K03(A, B, C, D)\}$ とし, $CIRC[T;Z;P] \models F$ であることを検証する. この場合、Deriv(T, F) すなわち, Deriv(T, ¬K03) は, 以下のように求まる.

$$\mathrm{Deriv}(T, \neg\mathrm{K03}) = \{:\mathbf{hasp}(\_,\_), :\mathbf{baseAngTri}(\_,\_,\_), \neg p002(\_,\_)\}$$

ここで, **:hasp(_,_)**, **:baseAngTri(_,_,_)** は, T において常に充足可能である. また, この例では, $T_S{}^1$ において, $\neg p002(\_,\_)$ である (すなわち, 学習者は問題 p002 を誤った) ことが述べられているので, $T \models$ Deriv(T, ¬K03) である. 従って,「学習者はルール K03 を理解していない」と診断される.

表 2: 診断知識の例

$T_E{}^1$

```
cl( [ neg(:hasp( Tri1, Seg1 )), neg(:hasp( Tri2, Seg2 )),
    neg(cong( Tri1, Tri2 )), equal( Seg1, Seg2 ) ] ).
cl( [ neg(:baseAngTri( Tri, Ang1, Ang2 )),
    neg(isoTri( Tri )), equal( Ang1, Ang2 ) ] ).
```

$T_E{}^2$

```
cl( [neg( p001( S1, S1 ) ), k03( S1, S2, _, _ )]).
```

$T_E{}^3$

```
cl( [ neg(:hasp( Tri1, Seg1 )), neg(:hasp( Tri2, Seg2 )),
    neg(cong( Tri1, Tri2 )),
    k03( Seg1, Seg2, Tri1, Tri2 ) ] ).
cl( [ neg(:baseAngTri( Tri, Ang1, Ang2 )),
    neg(isoTri( Tri )), k05( Ang1, Ang2 ) ] ).
```

$T_E{}^4$

```
cl( [ neg(k03( S1, S2, _, _ )), equal( S1, S2 ) ] ).
cl( [ neg(k05( A1, A2, _ )), equal( A1, A2 ) ] ).
```

$T_S{}^1$

```
cl( p001( S1, S2 ) ).
cl( neg( p002( A1, A2 ) ) ).
```

$T_S{}^2$

```
cl( [ neg(k03( S1, S2, T1, T2 )),
      neg(k08(T1, T2, S1, S2, A11, A12, A21, A22 )),
      neg(k05( A11, A21, T3 ),
      neg(k04( T4, T5, A12, A22 )),
      neg(k08( T4, T5, S5, S6, S1a, S2a, Ss, Ss )),
      neg(k10( Ss, Ss )),
      p001( S1, S2 )
  ] ).
```

T_P

```
cl( :hasp(_, _) ).
cl( :baseAngTri(_, _, _) ).
```

参考文献

[1] Michael R. Genesereth and Nils J. Nilsson. *Logical Foundations of Artificial Intelligence*, chapter 6. Morgan Kaufmann, 1986.

[2] Jhon McMarthy. Circumscription — a form of non-monotonic reasoning. *Artificial Intelligence*, Vol. 13, pp. 27–39, 1980.