１対多類推の制限付きアルゴリズムとその計算量

5B−5

網島 和博　　伊藤 英則

名古屋工業大学

1. はじめに

類推は知識獲得の１つの方法である。類推は基底領域の対象間（知識）の類似規則を検出し、目標領域にその類似規則を変換適用して未知の知識を推定する。これまでは対象間を個々の関係としてとらえた類推について研究されている[1]が、本論文では対象を制限付き集合としてとらえた類推の一方法について述べる。

2. １対多類推アルゴリズム

基底領域の既知知識をＳ$_1$，Ｓ$_2$、目標領域の既知知識をＳ$_3$とし、Ｓ$_1$,Ｓ$_2$およびＳ$_3$から未知知識Ｓ$_4$を類推する（図１参照）。ここで、Ｓ$_3$を個々に見る方法１とひとかたまりの集合に見る方法２を提案する。また、Ｓ$_i$の述語表現をS_iとする。

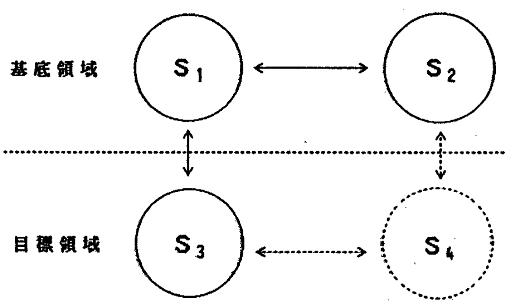

図1

<方法１>
ステップ１：

S_1, S_2間の極大集合類比 M と S_1, S_3間の１対１の対集合Tを求める。ここで、極大集合類比MとはＳ$_1$の対象物ａと述語α_iおよびＳ$_2$の対象物の集合Ｂにおいて $M = S_2 \cap \{\alpha_i(b) | b \in B, \alpha_i(a) \in S_1\}$ である。

ステップ２：

ルールR_1, R_2を求める。
R_1 : $\{S_1 - M\} \to \{S_2 - M\}$
R_2 : $\{S_1$の引数$\} \to \{S_2$の引数$\}$
R_1, R_2の引数（対象）名を一般化する。

ステップ３：

R_1, R_2を対集合Tの対応ごとにそれぞれ変換し、R_1', R_2'を求める。

ステップ４：

S_3にR_1'を適用し、S_3'を求める。

ステップ５：

S_3'にR_2'を適用し、S_4を求める。

<方法２>
ステップ１：

S_1, S_2間の極大集合類比Mと、S_1, S_3間の１対多の対Tを求める。

ステップ２：

方法１と同様

ステップ３：

R_1と対TからR_1'を求める。
R_2と対TからR_2'を求める。
ただし、ここで用いる対象の性質を表す述語αは$\alpha(\{A, B\}) = \alpha(A), \alpha(B)$であることの制限をもつ。また、$R_2'$は一般化された$S_2$の要素を$S_3$の各要素に対応付けて求める。

ステップ４，５：

方法１と同様

<例１>
S_1, S_2, およびS_3を次のように与える（図２参照）。
S_1={white(a),circle(a)}
S_2={gray(b),white(c),circle(b),square(c),on(b,c)}
S_3={white(x),white(y),white(z),circle(x),circle(y),circle(z),on(x,y),on(y,z)}
ここに、各述語はその引数に集合タイプを許す。

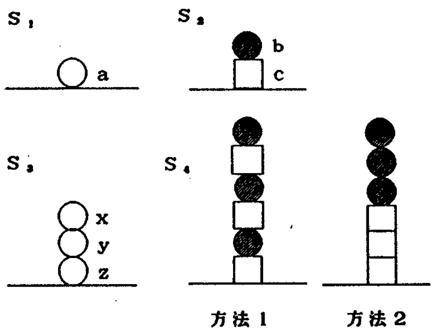

図２

<方法１>
ステップ１：

$M = \emptyset$（空集合） <{a},{b,c}>
$T \sim$ <{a},{x}>,<{a},{y}>,<{a},{z}>

ステップ２：

R_1:{white(a),circle(a)}
→ {gray(B),white(C),circle(B),square(C),on(B,C)}

R_2:{a} → {B,C}
ただし、a/a, b/B, c/C に一般化する。

ステップ３：

対T<{a},{x}>,<{a},{y}>および<{a},{z}>と対<{a},{b,c}>から
R_1':{white(x),circle(x)}
→ {gray(B),white(C),circle(B),square(C),on(B,C)}
{white(y),circle(y)}
→ {gray(B'),white(C'),circle(B'),square(C'),on(B',C')}
{white(z),circle(z)}

Limited Algorithims of 1 to n Analogy and their Complexity
Kazuhiro Amijima and Hidenori Itoh
Nagoya Institute of Tecnology

→ {gray(B"),white(C"),circle(B"),square(C"), on(B",C")}

R_2':{x}→{B,C}, {y}→{B',C'}, {z}→{B",C"}

ステップ4：

S_3 に R_1' を適用

S_3'= {gray(B),white(C),circle(B),square(C),on(B,C), gray(B'),white(C'),circle(B'),square(C'), on(B',C'), gray(B"),white(C"), circle(B"),square(C"), on(B",C"),on(x,y),on(y,z)}

ステップ5：

S_3' に R_2' を適用

S_4= {gray(B),white(C),circle(B),square(C),on(B,C), gray(B'), white(C'),circle(B'),square(C'),on(B',C'), gray(B"),white(C"), circle(B"),square(C"), on(B",C"), on({B,C}, {B',C'}), on({B',C'},{B", C"})}

<方法2>

ステップ1：

$M = \emptyset$ （空集合） <{a},{b,c}>

$T \sim$ <{a},{x,y,z}>

ステップ2：

方法1と同様

ステップ3：

対 T<{a},{x,y,z}>, 対 <{a},{b,c}>, および一般化 b/B, c/C から

R_1':{white({x,y,z}),circle({x,y,z})}
→ {gray({B,B',B"}),white({C,C',C"}),circle({B, B',B"}), square({C,C',C"}),on({B,B',B"},{ C,C',C"})}

R_2':{x,y,z} → {{B,B',B"},{C,C',C"}}

ステップ4：

S_3 に R_1' を適用

S_3'= {gray({B,B',B"}),white({C,C',C"}),circle({B,B', B"}), square({C,C',C"}),on({B,B',B"},{C,C',C" }), on(x,y),on(y,z)}

ステップ5：

S_3' に R_2' を適用

S_4= {gray({B,B',B"}),white({C,C',C"}),circle({B,B', B"}), square({C,C',C"}),on({B,B',B"},{C,C',C" }), on(B,B'),on(B',B"),on(C,C'),on(C',C")}

3. アルゴリズムの性質

<補題1>

S_2 領域の表現が横方向／縦方向に関して自由で、かつ S_3 領域の表現が縦方向／横方向に関して自由であれば、方法1と方法2の類推結果は同一である。

<例2> 補題1が成り立つ例を示す（図3参照）。以下の S_1, S_2, S_3 から方法1と方法2により同一の S_4 を得る。

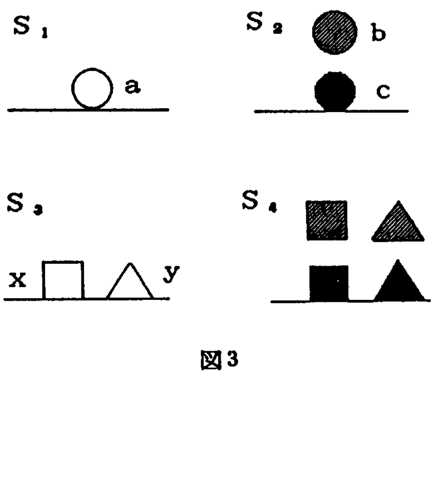

図3

4. アルゴリズムの計算量の評価

S_1 の対象物は1個である。S_2, S_3 の対象物をそれぞれ r, m 個とする。

<補題2>

S_1 の述語数 P_1 は定数であり、S_2, S_3 の述語数 P_2,P_3 はそれぞれ $O(r^2)$, $O(m^2)$ である。

<補題3>

方法1のアルゴリズムの計算量は $O(n^4)$ である。

（略証）

ステップ1：

M を求めるのに $P_1 \times P_2$

T を求めるのに $1 \times m$

ステップ2：

M の述語数は、P_1 以下であるから、

$S_1 - M$ を求めるのに $P_1 \times P_1$

$S_2 - M$ を求めるのに $P_2 \times P_1$

R_2 を求めるのに $(1+r)$

ステップ3：

R_1' を m 個生成するのに $m \times (P_1 + P_2)$

R_2' を m 個生成するのに $m \times (1+r)$

ステップ4：

R_1' の左辺 m 回の整合に $P_3 \times P_1 \times m$

書き換えに $P_2 \times m + P_3$

ステップ5：

R_2' の m 回の適用に $(1+r) \times P_3 \times m$

<補題4>

方法2のアルゴリズムの計算量は $O(n^4)$ である。

（略証）

ステップ1, ステップ2は同じ

ステップ3：

各引数が m 個の要素を持つので

R_1' 1個を生成するのに $m \times (P_1 + P_2)$

R_2' 1個を生成するのに $m \times (1+r)$

ステップ4：

R_1' の各引数が m 個の要素を持つので

R_1' の左辺の整合に $P_1 \times P_3 \times m$

書き換えに $P_2 \times m + P_3$

ステップ5：

R_2' の適用に $(1+r) \times m \times P_3$

<補題5>

S_2, S_3 の述語表現を隣合わせ関係のみとすれば、$O(n^3)$ となる。

5. おわりに

本論文では、制限付き1対n対応の類推アルゴリズムを提案し、その計算量が $O(n^4)$ であることを示した。さらに対応関係の拡張と制限付けを行なった類推アルゴリズムを考察することは興味深い。

参考文献

(1) 脇園 竜次, 有川 節夫, 原口 誠：類推のための抽象化, 人工知能学会研究会資料, SIG-FAI-8904-2(1/31), pp.11-20.

(2) Haraguchi,M. and Arikawa,S.: A Foundation of Reasoning by Analogy -Analogical Union of Logic Programs, *Lecture Note in Computer Science* 264(1987), pp.58-69.

(3) Haraguchi,M. and Arikawa,S.: Reasoning by Analogy as a Partial Identity between Models, *Lecture Note in Computer Science* 265(1987),pp.61-87.