

## 相互相関にもとづく論理プログラムの自動合成\*

3W-2

加藤 進也† 大木 敏幸‡

中村 克彦¶

東京電機大学大学院理工学研究科§

東京電機大学理工学部||

## 1 まえがき

最近、与えられた論理的帰結の例から論理プログラムを生成するための帰納的論理プログラミングの研究が盛んに進められている [1]. われわれは、相関と呼ばれる方式によって多数の入出力例を解析し、論理プログラムを自動合成する方式の研究を進めている [2].

今回の報告では相関を拡張した相互相関を提案する。相互相関によって、与えられたサンプル集合と背景知識として定義済みの述語との相互関係を求めることにより、サンプル集合を満足する述語に近い定義済み述語を発見し、サンプル集合の述語を包含する論理プログラムを生成することができる。

## 2 相関

以下、項と変数はPrologの形式で表し、変数の並びを $\bar{X}, \bar{Y}, \dots$ 、項の並びを $\bar{A}, \bar{B}, \dots$ で表す。また、任意の原子 $p(t_1, \dots, t_n)$ に対して、 $t_i$ を $t_i$ の部分項とすると、項 $p(t'_1, \dots, t'_n)$ を部分原子(subatom)と呼ぶ。例えば、項 $p([a, b, c])$ の部分原子は $p([a, b, c]), p([b, c]), p([c]), p(a), p(b), p(c), p([])$ の7個である。

最小汎化LGG(Least General Generalization)は単一化(unification)の逆演算であり、多くの上向き方式の帰納推論の基礎となっている。任意の原子 $P, Q$ に対してLGGの結果は $(R, \delta_1, \delta_2)$ である。ここで、 $\delta$ は代入をあらわし、 $R\delta_1 = P$ かつ $R\delta_2 = Q$ であり、かつ $R$ はこの条件を満足する項の中でもっとも具体化されたものである。

## 2.1 自己相関(auto correlation)

自己相関とは、ある原子の内部にはかの原子の構造が含まれていることをLGGを用いて検出するアルゴリズムであり、1対の論理的帰結の例をあらわす単位節から、これに含まれる再帰的構造を解析するために使われる。自己相関は、任意の原子 $p(\bar{S}), p(\bar{T})$ に対して適用され、以下に定義される5組

$$(p(\bar{D}_1), p(\bar{D}_2), p(\bar{U}), (\delta_1, \delta_2), SF)$$

の集合を結果とする。

それぞれは、 $p(\bar{T})$ の部分項 $p(\bar{T}')$ と $p(\bar{S})$ の部分項 $p(\bar{S}')$ の各対に対して次のように相関の結果が与えられる。

1. front difference (FD)  $p(\bar{D}_1), p(\bar{D}_2)$   
 $p(\bar{D}_1)$ は、 $p(\bar{S}') = p(t_1, \dots, t_n)$ としたとき、 $p(S) = p(f_1(t_1), \dots, f_n(t_n))$ となるような項  $p(\bar{D}_1) = p(f_1(X_1), \dots, f_n(X_n))$ と定義される。 $p(\bar{D}_2)$ は、 $p(\bar{T}')$ に対して同様に定義される。
2. common part (CP)  $p(\bar{U})$  および back difference (BD)  $\delta_1, \delta_2$ . これらは、 $p(\bar{T}')$  および  $p(\bar{S}')$  に対するLGGの結果 $(p(\bar{U}), \delta_1, \delta_2)$ によって与えられる。
3. simirality factor  $SF = f - v$ . ここで、 $f$ は $p(\bar{U})$ に含まれる変数と定数の出現の個数、 $v$ は $p(\bar{U})$ の変数と定数の種類の個数である。

このとき、以下の関係が満足される。

$$p(\bar{T}') = (p(\bar{D}_1) \oplus p(\bar{U}))\delta_1 .$$

$$p(\bar{S}') = (p(\bar{D}_2) \oplus p(\bar{U}))\delta_2 .$$

ここで、 $(p(D) \oplus p(U))\delta$ は $p(D)$ 中の各変数 $X_i$ に対して、 $p(U)\delta$ 中の対応する引数を代入して得られる原子をあらわす。

## 2.2 相互相関(mutual correlation)

上記の自己相関を拡張して、異なる二つの述語に対する相互相関を定義できる。相互相関は、与えられた述語の例と背景知識(BGK:Back Ground Knowledge)として論理プログラムによって定義済みの述語との相互関係を求めるために使われる。

[ 問題の定式化 ] 相互相関においては、述語 $p/n$ のサンプル集合 $S$ とBGK上の述語 $q/n$ のプログラムの2つが入力として与えられる。これらに対し、 $q/n$ の論理的帰結を $LC(q/n)$ とするとき、下記の条件を満たすような写像 $F$  および  $G$  を求める。ここで、 $F, G$ は相関の結果 $(p(\bar{D}_1), q(\bar{D}_2), p(\bar{U}), BD, SF)$ によって表されるような写像である。

$$F(S) \subseteq G(LC(q/n))$$

この結果から、次節で述べるような規則が生成される。

\* Automatic Synthesis of Logic Programs by Mutual Correlation

† Shinya KATO

‡ Toshiyuki OOKI

§ Tokyo Denki University Graduate School of Science and Engineering

¶ Katsuhiko NAKAMURA

|| Tokyo Denki University The Factory of Science and Engineering

[例] 述語  $p/3$  のサンプル集合  $S = \{p([a, b], c, [a, b, c])\}$  を入力とする。これと類似の  $append/3$  の論理的帰結

$$append([a, b], [c], [a, b, c]) \in LC(append/3)$$

を発見し、次の関連の結果を出力する。

$$(\phi, append(X, [Y], Z), p(X, Y, Z), (\phi, \phi), SF)$$

### 3 節の合成

関連の結果によって合成される Horn 節には、単位節 および次の4種類の規則がある。

- PP型  $p(\bar{A}) \leftarrow p(\bar{B})$ .
- PQ型  $p(\bar{A}) \leftarrow q(\bar{B})$ .
- PPQ型  $p(\bar{A}) \leftarrow p(\bar{B}), q(\bar{C})$ .
- PQR型  $p(\bar{A}) \leftarrow q(\bar{B}), r(\bar{C})$ .

ここでは、PQ型の規則の生成法のみについて述べる。相互関連の結果の解析した結果、BDが $(\phi, \phi)$ のとき、次のPQ形の規則が生成される。ここで、 $p(\bar{D}_1), q(\bar{D}_2)$ はそれぞれ  $FD1, FD2$  を一般化した項である。

$$p(\bar{D}_1) \leftarrow q(\bar{D}_2)$$

ただし、 $FD1$ (サンプル集合の部分アトムとの差)が空のとき、すなわち関連の結果が $(\phi, q(\bar{D}_2), p(\bar{U}), BD, SF)$ の形のとき、 $p(\bar{D}_1)$ は $p(\bar{U})$ と置きかえられる。

$$p(\bar{U}) \leftarrow q(\bar{D}_2)$$

$FD2$ (背景知識のLCの部分アトムとの差)が空のとき、すなわち $(p(\bar{D}_1), \phi, p(\bar{U}), BD, SF)$ の形のとき、 $q(\bar{D}_2)$ は以下の形となる。ここで、各 $x_i$ は $p(\bar{D}_1)$ 中の対応する引数を含む変数である(差の定義から必ずこのような変数が存在する)。

$$p(\bar{D}_1) \leftarrow q(x_1, \dots, x_n)$$

[例]  $p([a, b], c, [a, b, c])$ と $append/3$ との関連の結果  $FD1 = \phi, FD2 = append(X, [Y], Z), p(\bar{U}) = (X, Y, Z), BD = (\phi, \phi)$ のとき、次の規則が生成される。

$$p(X, Y, Z) \leftarrow append(X, [Y], Z)$$

$p([a, b], [c], [x, a, b, c])$ と $append/3$ との関連の結果  $FD1 = p(X, Y, [a|Z]), FD2 = \phi, p(\bar{U}) = (X, Y, Z), BD = (\phi, \phi)$ のとき、次の規則が生成される。

$$p(X, Y, [A|Z]) \leftarrow append(X, Y, Z)$$

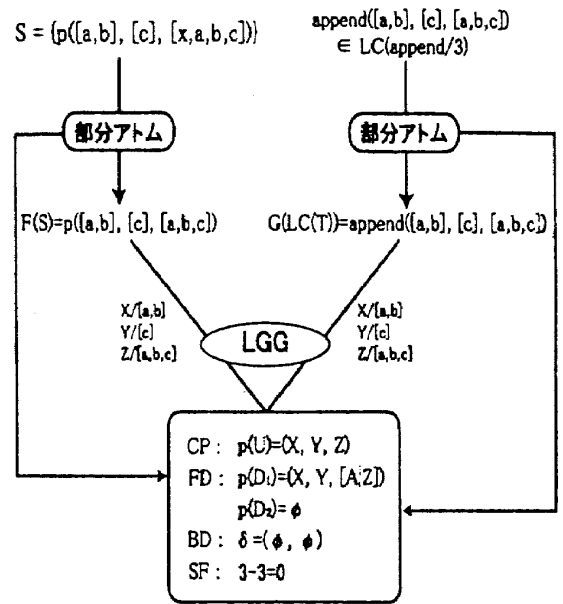


図 1: append/3 の例

### 4 結び

今回の報告では、これまでの自己関連アルゴリズムを拡張して背景知識とサンプル集合との関係を求める相互関連とよばれる新しいプロセスを提案し、それにもとづくプログラムの生成方式の概要を述べた。この方式によって、すでに背景知識として定義されているプログラムに似通ったプログラムを求めることができるほか、プログラム誤りを許容するような柔軟性のあるプログラム実行やプログラム変換などにも応用できると考えられる。

次のような問題を解決することが今後の課題である。

- サンプル集合  $S$  と BGK の述語  $T$  (プログラム) から 写像  $F, G$  を効率よく決定する方法。
- 真偽が引数の構造のみではなく値によって決定されるような述語に対する規則の生成。
- 関連にもとづく自動合成システム (SYNAPS) の改良と評価。

### 参考文献

[1] S.-H. Nienhuys-Cheng; R. de Wolf : Foundations of inductive logic programming, Springer, 1997.  
 [2] 中村 克彦 : 帰納推論による論理プログラムの自動合成に関する調査研究報告書, 財団法人機械システム振興協会, 1993.