

3G-5

ST-NET(ルール関連図)生成のための
パタン間関係解析アルゴリズム

坂口 聖治 田野 俊一 増位 庄一
(株)日立製作所 システム開発研究所

1. はじめに

エキスパートシステムの実用化の進展に伴い、推論機構の高速化が重要な課題となってきた。我々は、双方向推論の高速化方式として、ST-NET(Semi bi-directional Transition NETwork)アルゴリズム[1]を提案した。本報では、ST-NETアルゴリズムを可能とする条件ネットワークを生成するためのパタン間の関係判定アルゴリズムについて述べる。

2. パタン関係

パタンとは、対象の状態が満たすべき次のような条件記述である。ここで、項目条件は、定値比較や変数による他の項目との関係(二項関係の論理積)の記述である。

〈述語名〉(〈項目条件〉, ..., 〈項目条件〉)

例:a(>10 and <?X, ?X)

述語名がaで第1項目が10より大きく、かつ変数?Xより小さく、第2項目が変数?Xと等しいという条件を表す。

全ての状態の集合をTとするときパタンPa, Pbを満足する状態の集合をそれぞれSa, Sbとすると、

$Sa = \{x \mid x \in T, \text{かつ } x \text{ は } Pa \text{ を満足する}\}$

$Sb = \{x \mid x \in T, \text{かつ } x \text{ は } Pb \text{ を満足する}\}$

と定義でき、この集合の関係によってパタン関係を定義している。パタン関係は、次の4種類である。

- (1) D関係: SaとSbが交わらない場合($Pa \leftarrow D \rightarrow Pb$)
- (2) M関係: SaとSbが部分的に交わる場合($Pa \leftarrow M \rightarrow Pb$)
- (3) S関係: Sa, Sbのどちらか一方が他方に包含されている場合($Pa \leftarrow S \rightarrow Pb$ または $Pa \leftarrow S \rightarrow Pb$)
- (4) E関係: SaとSbが等しい場合($Pa \leftarrow E \rightarrow Pb$)

3. パタン制約集合

パタン関係は、パタン成立空間の重なりによって定義される。しかし、パタンが成立する状態の集合を算出することは、事実上不可能である。そこで、解析的にパタン関係判定が行えるように、パタン成立空間を制約の集合によって表現することを考えた。以降、パタン成立空間を制約群で表現したものをパタン制約集合と呼ぶ。パタン制約集合に次の性質を持たせると、パタン関係を容易に特定することができる。

- ・同一の制約集合に含まれる制約は、同じ集合中の他の1制約によっては満たされない(冗長性の排除)。
- ・制約集合は、前項に違反しない制約を全て持つ。

このような性質を持つパタン制約集合は、次のアルゴリズムによって導出することができる。以下において元とは、制約が「\$1<10」となっている場合の「\$1」、「10」のことをさす。また、G1~G16が制約導出処理、T1~T9が制約統合処理である。表1は「F1 op1 F2」と「F1 op2 F3」

より導出される制約「F2 op F3」の「op」を、表2は「F1 op1 F2」と「F1 op2 F2」による統合結果「F1 op F2」の「op」を、表3は「F1 op1 F2」の「F1 op2 F3」による統合結果「F1 op F」の「op F」の各部分をまとめたものである。

- [G1] 導出パタン制約集合を空集合とし、G2へ移る。
- [G2] 述語名制約を導出パタン制約集合に追加し、G3へ移る。
- [G3] 各項目制約を求め、それを導出パタン制約集合へ統合する。このとき、矛盾が発生した場合は、導出処理を中止し、そうでなければ、G4へ移る。
- [G4] 導出パタン制約集合より導出元を求め、それを導出元集合とし、G5へ移る。
- [G5] 現在の導出パタン制約集合を前導出パタン制約集合として待避し、G6へ移る。
- [G6] 導出元の全ての要素に対してG7, G8を施し、その後G9へ移る。
- [G7] 導出パタン制約集合より導出元に関する制約を選び、それを制約導出集合とする。
- [G8] 制約導出集合の2つ組を求め、表1に従い新制約を導出し、それを導出パタン制約集合へ統合する。このとき、矛盾が発生したら導出処理を中止する。

表1 一次制約導出における制約の導出

	op1					
op2	=	≠	>	≧	<	≦
=	=	≠	<	≦	>	≧
≠	≠					
>	>			>	>	
≧	≧			>	≧	
<	<		<			
≦	≦		<	≦		

空欄は導出不可

- [G9] 導出パタン制約集合を前導出パタン制約集合と比較し、等しければ、G10へ移り、違っていれば、G5へ移る。
- [G10] 導出パタン制約集合より、引数元および変数元の値域を求め導出対象元集合とし、G11へ移る。このとき値域が定まらないものは、導出対象元集合へ加えない。
- [G11] 導出対象元集合が空集合ならば、G16へ移る。空集合でなければ、導出元を選び、それを導出対象元集合から削除するした後、G12へ移る。
- [G12] 導出元の最小値が確定されていないならば、G14へ移る。確定されていれば、導出端点へその値をセットし、G13へ移る。

- [G13] 導出元の値域の最大端点が導出端点より小さな値である被導出元を導出対象元集合より選び、その全ての被導出元との「導出元>被導出元」の制約を生成し、それを導出パターン制約集合へ統合し、G14へ移る。
- [G14] 導出元の最大値が確定されていなければ、G11へ移る。確定されていれば、導出端点へその値をセットし、G15へ移る。
- [G15] 導出元の値域の最小端点が導出端点より大きな値である被導出元を導出対象元集合より選び、その全ての被導出元との「導出元<被導出元」の制約を生成し、それを導出パターン制約集合へ統合し、G11へ移る。
- [G16] 導出パターン制約集合より、変数元制約に関するものを削除し、導出処理を終了する。

- [T1] 統合対象制約が定値元間の関係制約ならば、T2へ、そうでなければ、T3へ移る。
- [T2] 統合対象制約の真偽判定を行う。真ならば、統合処理を終了する。偽ならば、矛盾であるので統合処理を中止する。
- [T3] 統合対象制約を構成する元に関する制約を導出パターン制約集合より抽出し、それを被統合制約とする。被統合制約が存在するならばT4へ、存在しなければT5へ移る。
- [T4] 表2に従い統合結果制約を求める。このとき矛盾と判断された場合は、統合処理を中止する。また、被統合制約と統合結果制約が等しければ、統合処理を終了し、違えば、統合結果制約を導出パターン制約集合より削除した後、それを統合対象制約としT5へ移る。

表2 一次制約統合における関係子の変化

o p 2	o p 1					
	=	≠	>	≥	<	≤
=	=	×	×	=	×	=
≠	×	≠	>	>	<	<
>	×	>	>	>	×	×
≥	=	>	>	≥	×	=
<	×	<	×	×	<	<
≤	=	<	×	=	<	≤

× : 矛盾

表3 二次制約統合における制約の変化

o p 2	o p 1					
	=	≠	>	≥	<	≤
=	×	= F 3	= F 3	= F 3	×	×
≠	= F 2	△	△	△	< F 2	≤ F 2
>	×	> F 3	> F 3	> F 3	×	×
≥	×	≥ F 3	≥ F 3	≥ F 3	×	×
<	= F 2	△	△	△	< F 2	< F 2
≤	×	< F 3	×	×	< F 3	≤ F 3

F 2 < F 3 の時上段; △ : 統合不可; × : 矛盾

- [T5] 統合対象制約の一方の元が定値元ならば、他方の元を注目元としT6へ、そうでなければT9へ移る。
- [T6] 導出パターン制約集合より注目元に関する全ての定値元制約を被統合制約集合とし、T7へ移る。

- [T7] 被統合制約集合が空集合ならばT9へ移る。そうでなければ、被統合制約を1つ選び、それを被統合制約集合より削除し、T8へ移る。
- [T8] 表3に従い統合結果制約を求める。このとき矛盾と判断された場合は、統合処理を中止する。また、統合結果制約が被統合制約と等しければ、統合処理を終了し、違えば、被統合制約を導出パターン制約集合より削除した後、T7へ移る。
- [T9] 統合対象制約を導出パターン制約集合へ追加し、統合処理を終了する。

4. パタン関係判定

パタン制約集合が前述の性質を持つ場合、以下のようにしてパタン関係を特定することができる。

関係を求めるパタンをPa, Pb, それぞれのパタン制約集合をGa, Gb, PaとPbの両立パタンをPab, そのパタン制約集合をGabとするとき、Gabの要素に背反する制約(両立しない)が存在する場合、両立空間は存在しない。従って、パタン関係は、D関係となる。Gabに背反する制約が存在しない場合、次の判別式(D1とD2)によって関係を判定する。

$$D1 = Gab - (Gab \cap Ga),$$

$$D2 = Gab - (Gab \cap Gb).$$

$D1 = \phi$ かつ $D2 = \phi$ ならば $Pa \leftarrow E \rightarrow Pb,$
 $D1 = \phi$ かつ $D2 \neq \phi$ ならば $Pa \leftarrow S \rightarrow Pb,$
 $D1 \neq \phi$ かつ $D2 = \phi$ ならば $Pa \leftarrow S - Pb,$
 $D1 \neq \phi$ かつ $D2 \neq \phi$ ならば $Pa \leftarrow M \rightarrow Pb.$

上記の関係に交わりがないことは自明であり、「 $Gab - (Gab \cap Ga) = \phi$ ならば $Gab = Ga$ である(証明略)」より、上記の関係判定が正当であることが言える。

上記パタン関係判定の例を次に示す。

【関係判定の例】

$$Pa = a > 10 \text{ and } < ?X, ?X$$

$$Pb = a > ?Y, > 5 \text{ and } > ?Y \text{ とする。}$$

従って、 $Pa = a > 10 \text{ and } < ?X \text{ and } ?Y, ?X \text{ and } > 5 \text{ and } > ?Y$ となり、各パタンのパタン制約集合は、

$$Ga = \{N=a, \$1>10, \$1>\$2, \$2>10\}$$

$$Gb = \{N=a, \$1>\$2, \$2>5\}$$

$$Gab = \{N=a, \$1>10, \$1>\$2, \$2>10\}$$

これを前述の判別式によって判定すると

$$D1 = \phi, D2 \neq \phi$$

となり、 $Pa \leftarrow S \rightarrow Pb$ である。つまり、Paを満たすパタンは必ずPbも満たすことが判る。また、実際にはPabは求めず、GaとGbから直接Gabを求める。

5. まとめ

パタンの特徴を制約の集合で表現するパタン制約集合を提案し、その導出アルゴリズムを示すとともに、それをを用いたパタン関係判定を提案した。本方式は、パタン関係を判定するだけでなく、アルゴリズムから明らかのように、恒偽パタン(矛盾)をも指摘できる。

参考文献

[1] 田野, 増位: ST-NETアルゴリズムと双方向推論の高速処理方式, 情報処理学会論文誌, vol. 29, No. 10, pp. 944-953 (1988).