1C-8

パタン制約集合に基づいた必要最小制約抽出アルゴリズム

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

知識工学ツールを用いた実用エキスパートシステムの構築が進むにつれて、高速な高機能推論機構の実現が望まれている。推論とは、ルールの連鎖をたどることであり、ＳＴ－ＮＥＴ（ Semi bi-directional Transition NETwork ）アルゴリズム[1] は、この連鎖をネットワーク構造として表現することで高速な双方向推論を可能とするものである。

ＳＴ－ＮＥＴを生成するためには、ルール間の関連を導く必要がある。ルール間の関連は、ルールを構成する基本要素であるパタンの関係を用いて計算することができる。そこで、パタン制約集合を用いてパタンを正規化し、 それによって関係判定をおこなうアルゴリズム[2] を提案した。

本報では、前記アルゴリズムの解析結果であるパタン階層グラフを実際に推論ができる形式（仮想マシンのコードで表現されたチェック項目の列）に変換するアルゴリズムについて述べる。

2．パタン関係と階層グラフ

パタンとは、ルールの条件部や結言部に現れる対象の状態が満たすべき条件を次のような形式で記述したものである。ここでの項目条件は定値比較や変数による他項目比較などの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、変数？Ｘより小さい。かつ、第２項目は変数？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。

Ｓａ＝｛ｘ｜ｘ∈Ｔ、かつｘはＰａを満足する｝
Ｓｂ＝｛ｘ｜ｘ∈Ｔ、かつｘはＰｂを満足する｝

この集合の関係によってパタン関係を定義する。パタン関係が、次の４種類であることは明らか。

(1) Ｄ関係：ＳａとＳｂが交わらない場合の関係
(2) Ｍ関係：ＳａとＳｂが部分的に交わる場合の関係
(3) Ｓ関係：Ｓａ，Ｓｂのどちらか一方が他方に包含される場合の関係（上位と下位がある）
(4) Ｅ関係：ＳａとＳｂが等しい場合の関係

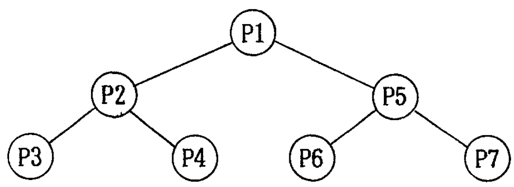
これら４種の関係には、以下のような性質がある。

(a) パタン間には、Ｄ，Ｍ，Ｓ，Ｅ関係のいずれか１つの関係が必ず成り立つ。
(b) Ｓ関係には、推移律が成立する。
(c) ＰａとＰｂがＭ関係であり、ＰｂがＰｃに包含されているＳ関係であり、ＰａとＰｃにＳ関係がないならば、ＰａとＰｃはＭ関係である。
(d) ＰａとＰｂがＤ関係であり、ＰｃがＰｂに包含されているＳ関係であるならば、ＰａとＰｃはＤ関係である。

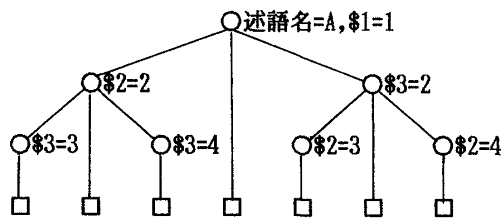
上記の性質を用いてパタン階層グラフとして表現し、ＬＨＳ，ＲＨＳのそれぞれの階層グラフに分割し、ショートカットアークを設定したものがＳＴ－ＮＥＴである。例えば、下図(a) がＬＨＳパタンの集合であるとした場合、階層グラフは図(b) のようになり、さらにＳＴ－ＮＥＴのＬＨＳ部は図(c) のように表される（ここで＄２＝２とは、第２引数が２と等しいという条件を表す）。

P1 = A(1,?X,?Y),　P2 = A(1,2,?Y)
P3 = A(1,?X,2),　P4 = A(1,2,3)
P5 = A(1,2,4),　P6 = A(1,3,2)
P7 = A(1,4,2)

(a) パタンの例



(b) 階層グラフの例



(c) ＳＴ－ＮＥＴ（ＬＨＳ部）の例

図１ 階層グラフとＳＴ－ＮＥＴの例

An Algorithm for Minimal Pattern Constraint Set.
Seiji SAKAGUCHI, Shun'ichi TANO, Shoichi MASUI
Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.

3．パタン最小制約

パタンの特徴を前述した成立する要素の集合の重なりで表現する代りに、次のような性質を持つ制約式の集合（パタン制約集合）で表現すれば、パタン階層グラフを制約式の操作のみで求めることができる。

(1) 同一のパタン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。
(2) 制約集合は、(1) に違反しない制約を全て持つ。

しかし、パタン制約集合から直接図１(c) のネットを生成すると冗長な制約が現れる。そこで、垂直最小制約，水平最小制約への変換が必要となる。

垂直最小制約とは、パタン階層グラフの構造を意識し、着目パタンに至るまでに上位パタンでチェック済みとなった制約を考慮した必要最小限の制約のことである。また、水平最小制約とは、ルールの条件部における変数の伝播条件等の制約を考慮し、確定される全ての情報を用いて算出されるパタン結合条件の必要最小限の制約のことである。

垂直最小制約は、パタン階層グラフの各ノードにパタン制約集合を記憶しておけば、求めるパタンの必要最小制約は、そのパタン制約集合と親のパタン制約集合を与えれば、次に示すアルゴリズムによって求められる。

[A１] 処理対象制約集合に含まれる導出元を定値元，引数元，変数元の順序で導出元キューへセットし、A２へ移る。
[A２] 導出元キューが空であればA８へ移り、空でなければA３へ移る。
[A３] 導出元キューのトップ元を含む制約式を制約集合より集め、削除制約導出集合へセットし、A４へ移る。
[A４] 削除制約導出集合の要素数が２個未満であればA７へ移り、２個以上であれば、削除制約導出集合を用いて推移律制約導出(注) をおこない、 導出制約を削除制約集合へセットし、A５へ移る。
[A５] 削除制約集合から上位制約集合に含まれる制約を削除し、A６へ移る。
[A６] 処理対象制約集合から削除制約集合に含まれる制約を削除し、A７へ移る。
[A７] 導出元キューをデキューし、A２へ移る。
[A８] 処理対象制約集合を用いて値域制約導出（注）をおこない、導出制約を削除制約集合へセットし、A９へ移る。
[A９] 処理対象制約集合から削除制約集合に含まれる制約を削除する。

注) 推移律制約導出：推移律に基づく制約導出手法。
例：＄１<＄２，＄２<＄３ → ＄１<＄３
値域制約導出：引数元や変数元などが値域を持つ場合、値域を利用した制約導出手法。

上記アルゴリズムを用いて、パタン階層グラフをルートから辿り、各パタンにおける必要最小制約を計算することにより、図１(c) に示したような条件ネットワークを生成する。

水平最小制約を求めるには、パタン制約集合を求める際に導出された変数制約をルール毎に記憶しておきルール制約集合を導出し、上位パタン制約集合を空集合とし、前述のアルゴリズムを適用することによって求められる。

しかし、パタンとは本来ルールを構成する基本要素である。従って、パタンの特徴はルールに依存するものが多く、単一パタンによる制約集合の導出は、ルールに含まれる矛盾（恒偽制約）等の情報が欠落した状態でパタン制約集合を求めることとなる。そこで、まずルールに属する各パタンをルール制約集合として集め、その後、各パタンの制約集合に分解し、パタンの集合体として持ち得る制約の導出を行えば、さらに効率のよいネットを生成することができる。この操作により、図２(a) のルールからは、図(b) より厳しい制約である図(c) の制約が得られる。（下線部が異なる。＄１：２は、述語Ｐｂの第２引数を表す。）

```
(テスト
 if
   テスト対象( < ?X and > 10, ?X )    … Pa
   テスト対象(  ?X, > ?X and > 5 )    … Pb
 then
   make テスト対象( ?X, ?X )
)
```

(a) ルールの例

Ga　= { \$0:1 < \$0:2,　\$0:1 > 10,　\$0:2 > 10 }
Gb　= { \$1:1 < \$1:2,　<u>\$1:2 > 5</u> }
Grl = { \$0:2 = \$1:1 }

(b) パタン個別に制約集合を求めた場合の例

Ga　= { \$0:1 < \$0:2,　\$0:1 > 10,　\$0:2 > 10 }
Gb　= { \$1:1 < \$1:2,　<u>\$1:1 > 10</u>,　<u>\$1:2 > 10</u> }
Grl = { \$0:2 = \$1:1 }

(c) ルールとして制約集合を求めた場合の例

図２．パタン制約集合の違い

4．まとめ

パタン制約集合から必要最小制約を求めるアルゴリズムを示した。また、同一ルールの全パタンをまとめて、パタン制約集合を求めると、パタンの持つ本来の意味を踏まえた必要最小制約を導出できることを示した。本方式は、パタン間の条件式の判定で絶対に成立しない状態をパタン内での条件判定時に発見し、以後の処理において考慮の対象からはずすことができる。

参考文献

[１] 田野他：ＳＴ－ＮＥＴアルゴリズム：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).
[２] 坂口他：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，情報処理学会第３８回全国大会予稿集，pp.531-532(1989).