高速双方向推論のためのルール関連図(ST－NET)の生成方式

3G-4

田野 俊一　増位 庄一　坂口 聖治
(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、ST－NETアルゴリズムと呼ぶ高速双方向推論の実現アルゴリズムを提案した[1]。ところが、これら高速処理アルゴリズム(例えば[2])は、実行効率を高めるものの、一方で、知識の構造化処理等の事前処理が大きくなり、ルールの追加,削除,修正が容易であるという知識工学ツールのよさが失われつつあるのも事実である。本論文では、ルール条件部、結論部に出現するパターン間の性質を用いて、効率的なST－NETを効率的に生成するアルゴリズムを提案する(ここで、パターンとは、ルール条件部・結論部内のワーキングメモリエレメントの記述を指す)。

2．ST－NETの構造

ST－NETアルゴリズムは、(1)事前解析によるパターンマッチの効率化、(2)ルール関連図内に2種のトークンを記憶・処理することによる双方向推論の多様化、高速化を実現している。ルール関連図として、図1に示すような、①ルールの条件部を「Ｆｏｒｗａｒｄ－ｒｏｏｔノードを頂点ノードとする弁別ネット(ＬＨＳネット)」に変換し、②ルール結論部を「Ｂａｃｋｗａｒｄ－ｒｏｏｔノードを頂点ノードとする弁別ネット(ＲＨＳネット)」に変換し、③ＬＨＳネットとＲＨＳネットを、それぞれの弁別ネットの終端ノードであるターミナルノードで結合し、④ＬＨＳネットとＲＨＳネットで共通に現れる条件を飛び越すｓｈｏｒｔｃｕｔアークを設定した構造を持つＳＴ－ＮＥＴで表現する。

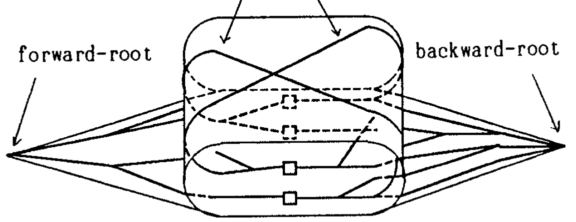

図1　ＳＴ－ＮＥＴの構造

この構造を持つＳＴ－ＮＥＴにワーキングメモリエレメント，ゴールを記憶・処理することにより、多様な双方向推論を高速に実行する。

3．解決すべき課題

ＳＴ－ＮＥＴアルゴリズムの高速性は、

①いかに効率的なＬＨＳネットを作るか
②いかに効率的なＲＨＳネットを作るか
③いかに効率的なSCUTアークを設定できるか

に依存する。

ＬＨＳネット、ＲＨＳネットは、弁別ネットであるから、効率化するということは、共通に現れる条件を１つにまとめることに対応する。

SCUTアークは、パターンマッチが可能と判定されたネットワークにだけ、データを流すように設定しなければならない。ところが、SCUTアークは、ＬＨＳネット，ＲＨＳネットを結合するアークであるから、効率的なアークができるかどうかは、ＬＨＳネット、ＲＨＳネットの構造に影響される。つまり、まず、効率のよいＲＨＳ，ＬＨＳネットを生成し、次に、これらのネットワークを結ぶSCUTアークを生成しても、効率のよいSCUTアークが設定できるとは限らないのである。即ち、三者を統合し生成する必要がある。

さらに、SCUTアークを設定するためには、ルール間の関連を解析する必要がある。しかし、この判定処理は、基本的に、ＬＨＳパターンとＲＨＳパターンのすべての組に対するマッチング処理であり、処理量が莫大になる。

以上のように、ＳＴ－ＮＥＴ生成アルゴリズムでは、①ＬＨＳネット，ＲＨＳネット、SCUTアークの生成を統合して行うこと、かつ、②ＬＨＳパターンとＲＨＳパターンの部分的な組合せでのパターンマッチ処理でＳＴ－ＮＥＴが生成できること、の２点が課題となる。

4．パターン間の関係とその性質

パターンは、対象の状態(即ち、ワーキングメモリの状態)を規定するものであり、対象の状態が満たすべき条件記述である。全ての状態の集合をＴとするとパターンＰａ，Ｐbの示す意味は、パターンを満足する状態の集合で表すことができる。パターンＰａ，Ｐbを満たす状態の集合をそれぞれＳａ，Ｓbとすると、

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

と定義できる。この集合の関係は以下の４種に分類できる。

交わりがない場合　：$Sa \cap Sb=\phi$
部分的に交わる場合：$Sa \cap Sb \neq \phi$，$Sa \cap Sb \neq Sa$，$Sa \cap Sb \neq Sb$
包含される場合　：$Sa \supset Sb$　ｏｒ　$Sa \subset Sb$
等しい場合　：$Sa=Sb$

この分類に基づき、パターン間の関係を定めることができる。

(1) Ｄｉｆｆｅｒｅｎｃｅ関係 (←D→)

$Sa \cap Sb=\phi$の場合、ＰａとＰbには、Ｄ関係があるといい、Ｐａ ←D→ Ｐbと記述する。

ST-NET Generation Algorithm for a Fast Bi-directional Inference
Shun'ichi TANO, Syoichi MASUI, Seiji SAKAGUCHI
Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.

（2）Ｍａｔｃｈａｂｌｅ関係（←M→）

Sa∩Sb≠φ，Sa∩Sb≠Sa，Sa∩Sb≠Sbの場合、PaとPbには、M関係があるといい、Pa ←M→ Pbと記述する。

（3）Ｓｕｐｅｒ－ｓｕｂ関係（←S－，－S→）

Sa⊃Sb　or　Sa⊂Sbの場合、PaとPbには、S関係があるといい、Sa⊃SbならばPa ←S－ Pb，Sa⊂SbならばPb ←S－ Paと記述する。

Pa ←S－ Pbの場合、Paは、Pbの上位パターン、Pbは、Paの下位パターンと呼ぶ。

（4）Ｅｑｕａｌ関係（←E→）

Sa＝Sbの場合、PaとPbには、E関係があるといい、Pa ←E→ Pbと記述する。E関係を持つパターンは、意味的にみて全く等しい。

これら４種の関係には、以下のような性質がある。

（ａ）パターン間には、D関係、M関係、S関係、E関係のいずれか１つの関係が必ず成り立つ。

（ｂ）S関係は、ｔｒａｎｓｉｔｉｖｅである。

（ｃ）Pa ←M→ Pbであり、Pc ←S－ Pbを満たすPcとPaにS関係がないならば、Pa ←M→ Pcが成立する。

（ｄ）Pa ←D→ Pbであり、Pb ←S－ Pcならば、Pa ←D→ Pcが成立する。

５．ＳＴ－ＮＥＴ生成アルゴリズム

基本的に、パターン間の関係を知るためには、すべてのパターンの組合せに対して、その関係を判定しなければならず、処理量がパターン数の２乗に比例して増加してしまう。ところが、前節で示した性質(c)(d)より、D関係、M関係は、S関係より計算できる部分がある。また、(d)より、S関係は、transitiveであるから、この性質を用いれば、S関係の階層を表すグラフは、効率良く生成できる。

そこで、全ての状態が満足する仮想的なパターンを頂点とするS関係を用いたパターンの階層グラフを考える。このグラフは、一意に定まる。

S関係を表すアーク（Sアークと呼ぶ）を実線で表した例を図２に示す。例えば、このグラフから、

Pa ←S－ Pb ←S－ Pcであることが得られる。

次に、あるパターンに直接結合した下位パターンが複数あり、それらのパターン間に、M関係がある場合、それらをアーク（Mアークと呼び、点線で表す）で結ぶ。例えば、Pbに直接結合した下位パターンは、Pc，Pd，Peであり、M関係が、PcとPe，PdとPeにあれば、それらのパターン間をMアークで結合する。

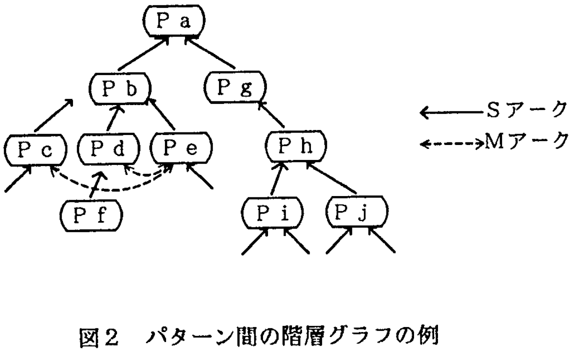

図２　パターン間の階層グラフの例

図２の例では、Ｐｂの直下のパターンPc，Pd，Pe間のMアークから、Pc ←M→ Pe，Pd ←M→ Peであると判定できるとともに、Pc ←D→ Pdであることも表している。

また、Paの直下のパターンPb，Pg間、Phの直下のパターンPi，Pj間、には、Mアークがないので、Pb ←D→ Pg，Pi ←D→ Pjであることも示している。

以上示したSアークとMアークによりパターン間の関連を表すグラフをImplication/Matchableグラフと呼ぶ。

ＩＭグラフでは、パターンPaとパターンPbが、直接S関係で結合されている場合、つまり、Pa←Pbのアークが存在する場合、このアーク上に、パターンPaとPbの条件の差を表すノードを生成し、パターンが成立したことを表すターミナルノードを生成すると、ＩＭグラフ内に存在するパターンに関する弁別ネットが生成できる。

上位のパターンは、下位のパターンにとって、共通の条件を表している。即ち、ＩＭグラフの構造に沿って、直接弁別ネットを生成することは、共通条件を１つのノードで表すことに対応し、同一の条件チェックを複数回判定することを避けることができ、効率的ネットワークとなっている。

また、ＬＨＳとＲＨＳパターンをすべて１つのＩＭグラフとして表せば、SCUTアークの設定に関する情報が得られる。

図２の例を用いて説明する。PdをＲＨＳパターン、他をＬＨＳパターンとする。あるルールの実行によりPdにマッチする状態が生成された場合、Pdの上位パターンであるPb，Paは必ず満たされ、また、Pdの下位パターンであるPfは、PdとPfのパターンの差をチェックするだけでパターンが満足されるかを判定できることを表している。即ち、Pdの上位パターンPb，Paはパターンマッチの処理なしに、Pdとパターンマッチすると判定できるパターンであり、SCUTアークによって直接結合でき、Pdの下位パターンPfは、部分的なパターンマッチの処理後、パターンマッチできるかどうか判定できるパターンであり、SCUTアークによって、必要となるパターンマッチ条件を表すネットワークに結合する。

また、Pdは、PeとMアークで結ばれているため、Pdにマッチする状態は、Pe以下のパターンを満たす可能性がある。そのため、Pfと同様に、SCUTアークによって、必要となるパターンマッチ条件を表すネットワークに結合する。一方、Pc以下のパターンおよびPg以下のパターンとは、SCUTアークで結合する必要はないことがわかる（PcとPdとはD関係であり、また、PgはPbとD関係であるからPbの下位パターンであるPdともD関係である）。

即ち、あるパターンPxに関するSCUTアークは、（ａ）上位パターンが成立したことを表すノードへ、（ｂ）下位パターンの成立判定に必要となるチェックを表すノードへ、（ｃ）上位パターンとMアークで結合されているパターンの成立判定に必要となるチェックを表すノードに結合する。

以上のように、ＩＭグラフから直接ＳＴ－ＮＥＴが生成できる。

５．まとめ

本報では、まず、パターン間には、Ｄ，Ｍ，Ｓ，Ｅ関係の４種の関係があることを示した。次に、パターンをS関係によって関連付けた階層グラフ内にM関係を部分的に表現すれば、これら４種の関係を得ることができ、このグラフからＳＴ－ＮＥＴが直接生成できることを示した。

参考文献

1) 田野，増位：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) Forgy,C.L.:Rete:A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem, Artif. Intell. Vol.19,No.1,pp.17-37(1982).