6Ｐ－7

実時間知識処理をめざした制約推論のための制約充足手法の処理時間比較

遠城　秀和
NTTデータ通信（株）技術開発本部 情報科学研究所

1　はじめに

近年の知識処理技術の進歩や計算機性能の向上により、知識を使ったより複雑な処理の実現がプロセス制御やオンライントランザクション処理のような実時間処理分野においても求められている。これらの実時間処理においては、レスポンスタイムなどの時間条件を満たす保証がシステム実現上必要である [1]。

しかし、一般的な知識処理では有限時間内に答えが求められる保証がなく、与えられた時間内に答えを求めるというレスポンスタイムを保証することが困難であった。このため、実時間処理分野への知識処理技術の応用が困難であった。

本報告では、知識処理の一推論方法である制約推論法において、制約充足手法である併合法が木探索法に変換可能なことを用い、木探索法と併合法の二つの制約充足手法における処理時間の上限値および平均値について比較した結果を述べる。

2　実時間環境における知識処理のレスポンスタイム

知識処理を実時間処理に導入するには、外部イベントを知識処理への質問に変換し(入力変換処理)、推論結果をそのイベントに対する出力に変換する(出力変換処理)ことで可能となる(図1)。したがって、実時間環境における知識処理のレスポンスタイムは、入力変換処理の処理時間、推論処理の処理時間と出力変換処理の処理時間の和になる。

知識処理のレスポンスタイムを保証するためには、処理全体に与えられた時間を分割し、決められた各時間内に入力変換処理、推論処理、出力変換処理が終了する保証が必要である。この内、入力変換処理と出力変換処理は従来の実時間処理のモジュールとして実現できるため、従来と同じ方法で与えられた時間内の終了を示すことが可能である。このため、推論処理が与えられた時間内の終了を示すことが、知識処理のレスポンスタイムを保証する上で重要である。

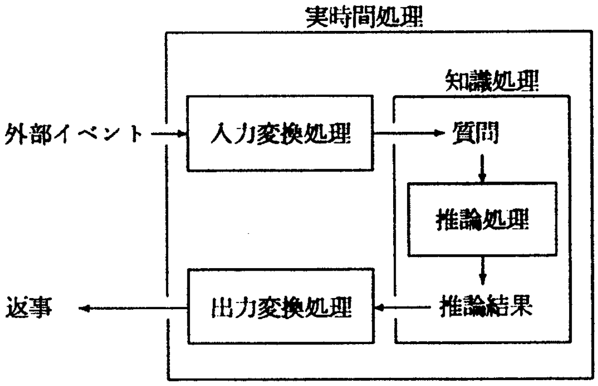

図 1: 実時間環境における知識処理

3　推論処理における計算量

これまでに知識処理の推論方法としては、ルール、論理、セマンティックネット、フレーム、制約などが提案されている。ルール推論では実験を併用した解析がされている [2]。しかし、理論的には制約推論の計算量が解析されていて、変数が有限個数の値を取る場合を対象とした計算量理論による処理時間の解析が進んでいる [3] [4] [5] [6]。

また、木探索法と併合法の対応付けも筆者による報告 [7] がある。ここでは、対応付けを用い、実用的なシステムにおいて重要なレスポンスタイムの上限値および平均値を比較する。

4　木探索法制約推論の最長推論処理時間

木探索法は縦型探索を基にした制約充足手法であり、幾つかに分割された部分問題を順番に、そして既に解いた部分解を用いながら解き進む方法である。

木探索法制約推論を用いた最長推論処理時間 (T_{max}) は、以下の式で計算できる [4]。

$$T_{max} \leq (\sum_{j=1}^{N}(m_j T_c + T_g))(\prod_{l=1}^{j}\prod_{k=1}^{n_l} V_{lk})) \qquad (1)$$

N　部分問題の数
n_j　部分問題毎の新規変数の個数
V_{jk}　新規変数が取る得る値の個数
m_j　部分問題毎の制約条件の数
T_g　候補解を生成する時間
T_c　単位検証時間(一つの候補解を一つの制約条件で検証する時間)

5　木探索法制約推論の平均推論処理時間

木探索法制約推論を用いた推論処理時間の期待値 (T_{mean}) は、以下の式で計算できる [5]。

$$T_{mean} = \sum_{j=1}^{N}\{(T_c \sum_{k=1}^{m_j}\prod_{l=1}^{k} P_{jl} + T_g)$$

Comparison of Response Times for Tree and Merge Method of Constraint-Based Inference toward Real-Time AI

Hidekazu ENJO
NTT DATA COMMUNICATIONS SYSTEMS CO.

$$(\prod_{k=1}^{j}\prod_{l=1}^{n_k} V_{kl})(\prod_{k=1}^{j-1}\prod_{l=1}^{m_k} P_{kl})\} \quad (2)$$

P_{jk} 制約強度係数 (制約条件の強さを表わす係数)

6 併合法の木探索法への対応付け

併合法は横型探索であり以下に示す方法で木探索法への対応付けが可能である [7]。(図2)

(1) 頂点拘束ネットワークの各頂点毎に頂点の制約条件を満たす値組を保持する仮想変数を導入する。

(2) 仮想変数の順序は併合していく順序と同じにする。

(3) 仮想変数間の制約条件は、一つ前までの全ての仮想変数と自仮想変数間で、原問題の変数に関する整合性とする。

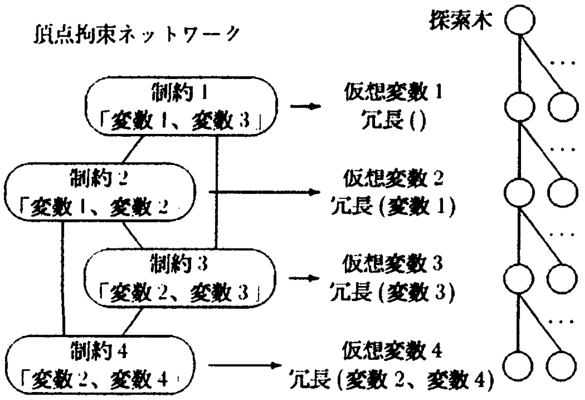

図 2: 併合法の木探索法への対応例

この対応付けによって、T_g、T_c 以外の変数は以下の様になる。

N' 制約条件数とする。

n'_j 1とする。

V'_{jk} R_{jk}(制約条件の要素数) とする。

m'_j 1とする。

P'_{jk} $\frac{\prod_{l=1}^{n_j} V_{il}}{W_{j1}}$, $(k=1)$、$\frac{1}{W_{j1}}$, $(2 \le k \le n_j)$、(W_{jk} は制約条件が含む変数の値の個数の積) とする。

制約条件に偏りがなければ、以下の条件が成立する。

$$R_{jk} = P_{jk}W_{jk}$$

この対応付けにより併合法における高速化手法 [8] を木探索法に利用可能 [9] であり高速化の適用可能性による差は生じない。このため、元の木探索法と併合法に対応付けられた木探索法を比較すればよい。

7 併合法制約推論の最長推論処理時間

併合法制約推論を用いた最長推論処理時間 (T_{max}) は、以下の式で計算できる。

$$T_{max} \le (T_c+T_g)\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{m_i}\{(\prod_{k=1}^{i-1}\prod_{l=1}^{m_k} R_{kl})(\prod_{l=1}^{j} R_{il})\} \quad (3)$$

$$\le (T_c+T_g)\sum_{i=1}^{N}\{(\sum_{j=1}^{m_i}\prod_{l=1}^{j} R_{il})(\prod_{k=1}^{i-1}\prod_{l=1}^{m_k} R_{kl})\} \quad (4)$$

8 併合法制約推論の平均推論処理時間

併合法制約推論を用いた推論処理時間の期待値 (T_{mean}) は、以下の式で計算できる。

$$T_{mean} = (T_c+T_g)\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{m_i}\{(\prod_{k=1}^{i-1}\prod_{l=1}^{m_k} R_{kl}\prod_{l=1}^{j} R_{ik})$$

$$(\prod_{k=1}^{i-1}(\frac{\prod_{l=1}^{n_k} V_{kl}}{W_{l1}}\prod_{l=2}^{m_k}\frac{1}{W_{kl}}))(\frac{\prod_{l=1}^{n_k} V_{il}}{W_{l1}}\prod_{l=2}^{j}\frac{1}{W_{il}})\} \quad (5)$$

$$= (T_c+T_g)\sum_{i=1}^{N}\{(\sum_{j=1}^{m_i}\prod_{l=1}^{j} P_{il})(\prod_{k=1}^{i-1}\prod_{l=1}^{m_k} P_{kl})(\prod_{k=1}^{i}\prod_{l=1}^{n_k} V_{kl})\} \quad (6)$$

9 木探索法と併合法の処理時間比較

制約条件によって R_{jK} と V_{jk} はさまざま大小関係となるため、最長推論処理時間は比較できない。

T_c に比較して T_g が十分小さい場合、平均推論処理時間は併合法と木探索法で同じ程度であるが、一般には併合法より木探索法が短くなる。しかし、T_c、T_g の絶対値は推論の実現方式に強く依存するため、併合法と木探索法の絶対的優劣を付けるのは実験による評価が必要である。

10 まとめ

本報告では、知識処理の一推論方法である制約推論法において、制約充足手法である併合法が木探索法に変換可能なことを用い、木探索法と併合法の二つの制約充足手法における処理時間の上限値および平均値について比較した結果を述べた。

参考文献

[1] JIS X 0010-1987 情報処理用語 (操作技法及び機能)

[2] Franz Barachini: "Frontiers in Run-Time Prediction for the Production-System Paradigm", AI magazine, Vol.15, No.3, pp47-61 (1994)

[3] 遠城: "実時間知識処理をめざした制約推論のレスポンスタイム推定法", 第44回情処全大, 2Q-4 (1992)

[4] 遠城: "実時間知識処理をめざした制約推論における木探索制約充足手法のレスポンスタイム推定法", 第47回情処全大, 1P-2 (1993)

[5] 遠城: "実時間知識処理をめざした制約推論における木探索制約充足手法の平均レスポンスタイム推定法", 第49回情処全大, 4J-5 (1994)

[6] 窪田、内野、李、山下、西原: "併合法による制約充足の並列化効果について", 第46回情処全大, 7A-1 (1993)

[7] 遠城: "実時間知識処理をめざした制約推論のための制約充足手法比較", 第46回情処全大, 7A-2 (1993)

[8] 塩澤、西原、池田: "拘束条件の構造を考慮した整合ラベリング問題の解法", 情報処理学会論文誌, Vol.27, No.10, pp927-935 (1986)

[9] 遠城: "実時間知識処理をめざした木探索制約推論の高速化手法", 第48回情処全大, 3N-4 (1994)