

## 実時間知識処理をめざした制約推論における 4 J-5 木探索制約充足手法の平均レスポンスタイム推定法

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った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の木探索制約充足手法において、質問を与えてから答えが求まるまでのレスポンスタイムを知識の量と計算機の処理性能で表現し、平均レスポンスタイムを推定する方法について述べる。

### 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。

Mean Prediction of Responce Time for Tree Method of  
Constraint-Based Inference toward Real-Time AI

Hidekazu ENJO

NTT DATA COMMUNICATIONS SYSTEMS CO.

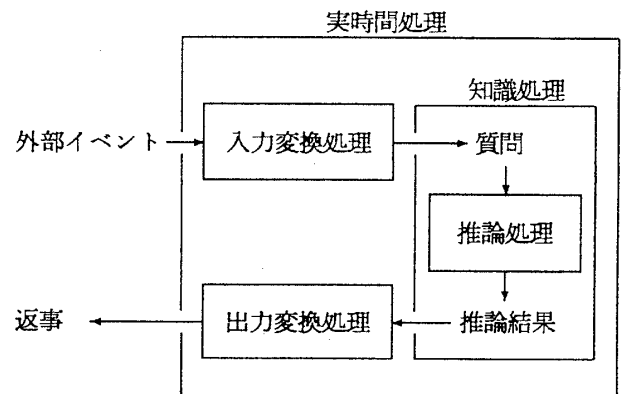


図1: 実時間環境における知識処理

### 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。その中では制約推論の計算量が比較的解析されていて NP 完全という結論ではあるが処理時間の上限が示されている [2] [3]。このため、制約推論は与えられた時間内の終了が証明可能となっている。さらに、制約推論の解法は、列挙法、木探索法、弛緩法、併合法の4種類に分類できる [2]。列挙法および木探索法における計算量推定方法は、既に筆者による報告 [4] [5] があり、併合法における計算量推定方法は、窪田らによる報告 [6] がある。

しかし、木探索法を用いた推論処理における計算量の推定方法は、上限を示すのみであり、実用的なシステムにおいてはレスポンスタイムとなる計算量の平均や分散に代表される分布を把握することも重要である。ここでは、木探索法を用いた推論処理における平均計算量の推定方法を示す。

### 4 木探索法制約推論の平均推論処理時間

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。ここでは、部分問題を逐次的に解きながら全ての解を求める推論処理時間の期待値を算出する方法を示す。

逐次的に部分問題を解く場合、全体の推論時間 ( $T_p$ ) は各部分問題を推論する時間 ( $T_j$ ) の和になる。部分問

題の数を  $N$  とおくと、以下の計算式になる。

$$T_p = \sum_{j=1}^N T_j \quad (1)$$

各部分問題を推論する時間は、既に解いた部分解一つごとに全ての候補解を生成し制約条件で検証する時間になる。部分解一つごとに生成される候補解は、部分解に含まれない部分問題中の新規変数が取ることのできる値の全ての組み合わせと部分解を合わせたものになる。したがって、部分解一つごとに生成される候補解の数は、新規変数が取り得る値の個数 ( $V_{jk}$ ) の積になる。与えられる部分解の個数を  $L_j$ 、新規変数の個数を  $n_j$  とすると各部分問題で生成される候補解の数 ( $M_j$ ) は以下の式で計算できる。

$$M_j = \left( \prod_{k=1}^{n_j} V_{jk} \right) L_j \quad (2)$$

部分解の個数は、その部分問題の制約条件の強さに依存し一定の値にはならない。しかし、制約条件に含まれる変数の全ての組み合わせの一通りだけが候補解として与えられた場合は、部分解の個数は一定の値になる。制約条件を 0 と 1 の要素だけのマトリックス形式で表現すれば、マトリックスの全要素数が上記の候補解数となり、1 の要素数が上記の部分解数となる。したがって、1 の要素数を全要素数で割った値が制約条件の強さを表わす係数 ( $P_{jk}$ ) となり、部分解として成立する確率と考えることができる。

与えられる候補解にあまり偏りがなければ、与えられる候補解の個数と制約強度係数  $P_{jk}$  の積が部分解の期待個数になる。これを用いると次段の部分問題を解く際に用いる部分解の期待個数は、以下の漸化式および漸化式を解いた式になる。(部分問題の制約条件の数を  $m_j$  とする。)

$$L_{j+1} = \left( \prod_{k=1}^{m_j} P_{jk} \right) \left( \prod_{k=1}^{n_j} V_{jk} \right) L_j = \prod_{k=1}^j \left\{ \left( \prod_{l=1}^{m_k} P_{kl} \right) \left( \prod_{l=1}^{n_k} V_{kl} \right) \right\} \quad (3)$$

一つの候補解を検証する時間 ( $t_j$ ) は、候補解を生成する時間 ( $T_g$ ) とその候補解を各制約条件ごとに検証する時間の和になる。制約条件を基本的な検証処理の形に分解しておくことで、一つの候補解を一つの制約条件で検証する時間は一定と考えることができる。(この時間を単位検証時間 ( $T_c$ ) とする。)

また、一つの候補解を一つの制約条件で検証した結果、制約条件を満たしていなければその時点で処理が打ち切れ、次の候補解の検証に進む。このため、一つの候補解を各制約条件で検証する時間の期待値は、その候補解が各制約条件を満たす確率とその制約条件を検証するまでの時間の積の総和となる。その確率は制約強度係数で計

算でき、その制約条件を検証するまでの時間はそれまでの制約条件の個数と基本検証時間の積になる。したがって、一つの候補解を検証する時間の期待値は以下の式で計算できる。

$$t_j = T_c \sum_{k=1}^{m_j} \prod_{l=1}^k P_{jl} + T_g \quad (4)$$

一つの候補解の平均検証時間は各候補解の値に依存しない。また、部分解一つごとに生成される候補解の個数も部分解の値に依存しない。したがって、各部分問題を推論する時間は、一つの候補解を検証する時間と各部分問題で生成される候補解の数の積 ( $t_j M_j$ ) になる。全体の推論時間の期待値は以下の式になる。

$$T_p = \sum_{j=1}^N \left\{ \left( T_c \sum_{k=1}^{m_j} \prod_{l=1}^k P_{jl} + T_g \right) \left( \prod_{k=1}^j \prod_{l=1}^{n_k} V_{kl} \right) \left( \prod_{k=1}^{j-1} \prod_{l=1}^{m_k} P_{kl} \right) \right\} \quad (5)$$

木探索法制約推論を用いたレスポンスタイム ( $T_a$ ) の期待値は、入力変換の処理時間を  $T_i$ 、出力変換の処理時間を  $T_o$  とすると以下の式で計算でき、平均レスポンスタイムの推定が可能となる。

$$T_a = T_i + T_o + \sum_{j=1}^N \left\{ \left( T_c \sum_{k=1}^{m_j} \prod_{l=1}^k P_{jl} + T_g \right) \left( \prod_{k=1}^j \prod_{l=1}^{n_k} V_{kl} \right) \left( \prod_{k=1}^{j-1} \prod_{l=1}^{m_k} P_{kl} \right) \right\} \quad (6)$$

## 5 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の木探索制約充足手法において、候補解の生成数と制約条件数を知識の量とし、一つの候補解を生成する処理時間と一つの制約条件を検証する処理時間を計算機の処理性能として、質問を与えてから答えが求まるまでの平均レスポンスタイムを推定する方法について述べた。

## 参考文献

- [1] JIS X 0010-1987 情報処理用語 (操作技法及び機能)
- [2] 西原: “整合ラベリング問題と応用”, 情報処理, Vol.31, No.4, pp500-507 (1990)
- [3] Dechter, R. and Pearl, J.: “Network-Based Heuristics for Constraint-Satisfaction”, Artificial Intelligence, Vol.34, No.1, pp1-38 (1990)
- [4] 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)
- [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レスポンスタイム推定法”, 第47回情処全大, 1P-2 (1993)
- [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)