部分解を利用した制約充足問題の解法について

5G−6

野中 哲
NTTデータ通信株式会社

1. はじめに

スケジューリング問題をはじめとする人工知能のさまざまな分野で扱われる、古典的かつ重要な問題の１つに制約充足問題（Constraint Satisfaction Problem）がある。

このような制約充足問題を繰り返し解く場合、同一問題を最初から解き直すことは非効率的であり、繰り返し回数分の計算時間が必要となる。一方、あらかじめあらゆる入力値を想定して列挙し、解いた解を蓄積しておくことにより、同一入力値に対する解を瞬時に得ることができる。この場合、あらゆるパターンを想定して解くために、十分な計算機資源と処理時間が必要となる。

そこで本稿では、両者の欠点を補う方法として、一度解いた制約充足問題の部分解を蓄積し、その蓄積した解を利用して制約充足問題を解くことについて説明する。また、このような制約充足問題が繰り返し行われる例の一つである、定性推論の状態遷移に本方法を適用する場合について述べる。

2. 定義

2.1 制約充足問題

制約充足問題とは、変数の有限集合、および各変数に対してとりうる値の集合を与えた場合に、すべての制約を満足するような各変数の値を求める問題である。

- ●変数の集合：$V = \{V_1, V_2, ..., V_n\}$
- ●変数のドメイン：各変数 V_i は、ドメイン D_i から値をとる
- ●制約の集合：$C = \{c_1, c_2, ..., c_m\}$
  各制約 c_i は、Vの部分集合のそれぞれの変数の取り得る値を規定している（ex. $c_i = c_i(V_x, V_y, V_z)$ は変数 V_x, V_y, V_z 間の制約）

解はn-組の値で
$(a_1, a_2, ..., a_n) \in D_1 \times D_2 \times ... \times D_n$ である。

前記問題を広義の制約充足問題と呼ぶのに対し、以下の項目が加わった問題を、本稿では扱うものとする。

1) 変数の中に、予め値が割り当てられた変数（以下、入力変数と呼ぶものとする）が複数ある
2) 入力変数の値を変えて問題を繰り返し解く
3) 入力変数の各ドメイン D_i は離散値の集合である

具体例としては、
$C = \{c_1(V_1, V_2, V_3), c_2(V_2, V_3)\}$,
$D_1 = D_2 = D_3 = \{a, b\}$
である場合に、例えば変数 V_1 が入力変数であれば、$V_1 = a, V_1 = b, V_1 = c, V_1 = b, ...$ という入力値に対して、繰り返し制約Cを満たす変数 (V_1, V_2, V_3) の値を求めることを意味する。

2.2 部分解と全体解

入力変数を含む制約充足問題は、広義の制約充足問題に対し以下の制約を加えることで、広義の制約充足問題として扱うことが可能となる。すなわち、入力変数が $V_i, ..., V_j$（変数の集合Vの部分集合）でその値が $(a_i, ..., a_j) \in D_i \times ... \times D_j$ である場合、制約の集合 C に、入力変数に関する制約 c_I:｛変数 $(V_i, ..., V_j)$ は $(a_i, ..., a_j)$ をとる｝を加えることである。従って、入力変数を含む制約充足問題の解の集合は、広義の制約充足問題の解の集合に、より制限を加えたものであり、その解の集合は広義の制約充足問題の解の集合に対し部分集合となる。

従って、広義の制約充足問題の解の集合を全体解とすると、入力変数を伴う制約充足問題の解の集合は部分解と呼ぶことができる。

3. 部分解の蓄積

入力変数を含む制約充足問題を入力変数の値を変えて繰り返し解く場合に、入力変数値が同一であるものに対し、再度同一問題を解くことは非効率的である。

一方、入力変数のドメインをもとに全ての入力変数に対する入力値の組み合わせを生成し、予め入力値に対応する部分解を蓄積しておくことは、十分な計算機資源と時間が必要となる。特にこの場合、入

A method for Constraint Satisfaction Problem using partial solutions
Satoru NONAKA
NTT DATA COMMUNICATIONS SYSTEMS CORPORATION

力変数$V_i, ..., V_j$のすべての組み合わせである$|D_i|\times...\times|D_j|$($|D|$は集合の要素の個数を示す)通りのパターンを生成しなければならないが、入力変数の間の制約C_Iにもとづき特定のパターンしか入力されない場合、不要な制約充足処理を行ったことになる。

そこで、本稿では入力変数に対する入力値と対応する部分解を逐次的に蓄積し、その蓄積結果を利用することを提案する。

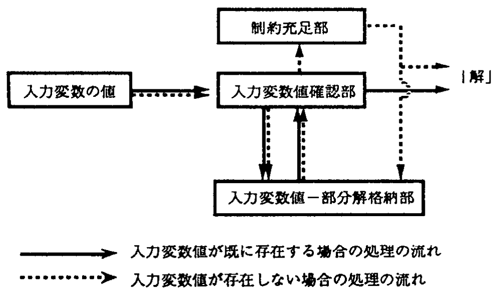

図１：部分解の蓄積

図１は部分解の逐次的な蓄積方法を示したものである。ここでは、入力変数の値が既に解かれているかの確認を入力変数値確認部が、入力変数値 - 部分解格納部に対して行う。そして、解かれている場合は格納部からの値を出力し、解かれていない場合は制約充足部で解き、格納部に部分解を蓄積するとともに解として出力することを示している。

本方法により、同一入力値に対する再計算と、すべての入力値生成における不要な入力値に対する制約充足処理を省くことが可能となる。

4. 部分解蓄積方法の適用例

制約充足問題の部分解蓄積の適用例として、定性推論の状態遷移が挙げられる。

定性推論においては、定性値で表される幾つかの変数により定性状態を表すことになる。そして、ある定性状態から、制約に基づき別の定性状態に遷移していく系の振る舞いをシミュレートすることになる。ここでの定性状態間の遷移は、広義の制約充足問題と考えられる。

一方、定性推論の状態遷移が2.1節で加えた1)〜3)の制限を満たす理由を以下に示す。

1) 状態遷移問題においては、状態を示す定性値で表される変数が、予め値が割り当てられた変数であり、この変数は1つ以上存在する。
2) 状態遷移においては、状態がどのように変化していくかを、繰り返し調べ、最終的にどのような状態に達するかを調べることになる。
3) 入力変数のドメインは、上記1)より定性値を取る。従ってこのドメインは、離散値の集合である。

従って、部分解の蓄積による方法が定性推論の状態遷移問題に適用できることがわかる。このような、定性推論の状態遷移を用いたシステムとして、著者らは交通状態予測システムRADIUS[1],[2],[3]を開発した。そこでは、道路の車線の混み具合を定性値で表し、各車線の状態により定性状態を表している。そして、1交差点の各車線の状態が信号の1サイクルの間にどう変化するかを予測するものである。

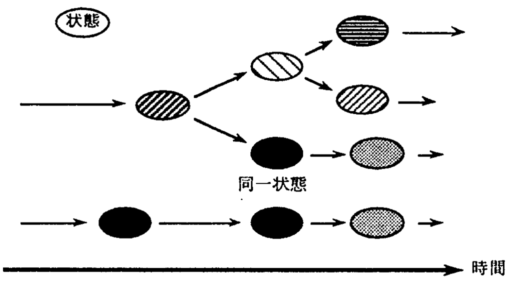

図２：時間と状態の関係

図２は、時間と共に状態が変化していく様子を示している。この場合、同一状態であるものが現われた場合に、部分解の蓄積により、その状態から次の状態への遷移に関する制約充足処理を省くことが可能となる。

5. まとめ

本稿ではまず制約充足問題における部分解の蓄積に関して述べた後、本方法が定性推論の状態遷移のような制約充足問題を繰り返し解く場合に適用できることを示した。

参考文献

[1] 杉本勉他"定性推論の交通挙動推定への適用",第43回情処理学会全国大会,(1991)
[2] 野中哲 他 "交通挙動推定への知識処理技術の適用について", 第11回交通工学研究発表会, (1991)
[3] 大濱寛樹他"交通状態予測における定量データの定性推論過程への取り込みについて", 第44回情報処理学会全国大会,(1992)
[4] 野中哲 他"動的制約充足問題のための制約維持機構について",第42回情報処理全国大会,(1991)