3N－7

制約条件の構造に着目したCSPの分類方法

内野寛治　窪田信一郎　狩野均　西原清一
筑波大学　電子・情報工学系

1 はじめに

制約充足問題(以下CSP)とは複数の構成要素に関する局所的解釈の候補が与えられたときに対象全体の矛盾のない解釈を求める問題である[1].

本稿ではCSPを分類するために分割／非分割処理向き，並列／逐次処理向きといった２つの枠組みを提案する．さらにCSPをグラフ表現した制約ネットワークについて位相構造とCSPの分類の関係について実験を行う．

2　CSPの併合法による解法と計算コスト

2.1　CSPの定義とネットワーク表現

CSPは４つ組(U,L,T,R)で定義される[1]．U={1,..,M}はユニット(変数) の集合，Lはラベル(値) の集合を表す．TとRでユニット間に成り立つ制約条件を表わす．CSPを解くとは全ユニット(1,...,M)に対し，全ての制約条件満たすラベル組(l_1,...,l_M)を求める操作である．CSPは制約条件をネットワークの‘頂点’，２つの制約条件に共通して含まれるユニットを‘辺’に対応させ表現した‘制約ネットワーク’で等価表現できる．CSPの定義と制約ネットワークの例を図1に示す．

2.2　併合法と計算コスト

CSPの解法として制約ネットワーク中の２つの頂点をまとめて新たに１つの頂点で置き換える操作を順次繰り返していき最終的に１つの頂点に縮退させる方法がある．これを併合法[2]と呼ぶ．図1の例の場合，V_2とV_3とを併合させて新たに頂点V_{23}を得るとき，新たに生成された頂点V_{23}の制約条件は，t_{23}=(1,2,3,4), R_{23}={(a,b,c,d),(e,e,b,e)}となる．制約ネットワークの各頂点を繰り返し併合操作し，最終的に１つの頂点になったときの制約条件ペアが最終解(全体解)を与える．

U={1,...,4}, L={a,b,c,d,e},
T={t1,...,t4}   t1=(1,2), t2=(1,3), t3=(2,3,4), t4=(1,4),
R={R1,...,R4}
R1={(a,b),(a,e)},
R2={(a,c),(a,e),(e,b)},
R3={(b,a,e),(b,c,d),(e,b,e)},
R4={(a,d),(a,e),(b,e)}.

全ユニット：(1,2,3,4)
解　　　：(a,b,c,d)

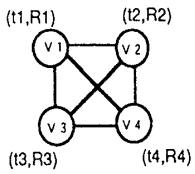

図１　CSPの定義と制約ネットワーク

次に併合操作の処理時間の相対的な目安となる‘計算コスト’の定義を与える．頂点併合操作における処理時間は，「走査しなければならないRの要素の全組合せ数」にほぼ比例すると仮定できる．２つの頂点を併合するときの計算コストを「各頂点のRの要素の総数(｜R｜)の積」と定義する[3].

3　CSPの分類法

3.1　併合処理の分類

本稿では併合処理を**逐次処理**，**準並列処理**，**並列処理**の３種類に分けて考察する[3]．準並列処理とは制約ネットワークを部分に分割しそれぞれの部分を１プロセッサで独立に併合処理する方法である．逐次処理は１プロセッサで分割を行わず頂点を逐次的に併合する．並列処理は準並列処理で１プロセッサで行っていた処理を分割した部分毎に複数のプロセッサで処理する方法である．ここで各処理の計算コストをCs，Cp'，Cpとする．

3.2　CSPの分類

CSPを併合処理したときの最適な計算コストの大小から**分割処理向き／非分割処理向き**，**並列処理向き／逐次処理向き**といった２つの枠組みで分類する．前者はシングルプロセッサでの処理を仮定した分類方法でCs>Cp'となるCSPは分割処理向きと分類する．後者はマルチプロセッサの処理を仮定した分類方法でCs>Cpならば並列処理向きと分類する．

4　実験

4.1　実験方法

頂点数４の制約ネットワークの位相構造Tを固定してラベル制約関係をランダムに生成したとき，ネットワークの位相構造が各併合処理の計算コストにどの程度影響するのかを実験で確認する．頂点数４のネットワークの位相構造の種類は図２に示すようにNW(1)～(6)の６通りである．ネットワークが完全

Classification of CSPs by Observing Constraint's Structure
Kanji UCHINO,Shin'ichiro KUBOTA,Hitoshi KANOH,
Seiichi NISHIHARA
Inst.Inf.Sci.&Electr.,University of Tsukuba

グラフ(K3)を内部に含む場合(NW(3),(5),(6))，辺に対応するユニットの種類によって複数の場合が存在する．特にネットワーク自身も完全グラフであるNW(6)は辺に対応するユニットが全て等しいもの(NW(6.1))が存在し図３に示すように辺に対応するユニットによって３種類(NW(6.1)～(6.3))が考えられる．実験は位相構造に合わせて制約関係Tを固定し，｜L｜=5,｜R｜=1～12を与え，ラベル制約関係中のラベルの種類をランダムに生成して1000個のCSPを発生させ，分割処理向き，並列処理向きのCSPが1000個中どれだけを占めるかを調べる(図4,5).

4.2　実験結果

図4から｜R｜>2のところで各CSPにおいて分割／非分割処理向きの分類が明確に行えることがわかる．さらに図5から｜R｜>5のところで並列／逐次処理向きの分類が明確に行えることがわかる．また，図4,5で示したCSPの分類結果は共に等しくなっている．

4.3　考察

以上の実験結果から並列(分割)処理向きと分類されるCSPには制約ネットワークの構造上次のような特徴があることがわかった．

(1)ネットワークを分割する際に切断しなければならない辺の数が２本以下でかつ分割した部分も連結グラフとなっている(NW(1),(3),(4))

(2)辺に対応しているユニット(共通ユニット)の種類が１種類である(NW(6.1))

さらにCSPの分類結果が等しくなっているという結果は並列処理向きかどうかを判断するのに分割処理向きかどうかを判断すればよいことを意味している．つまり分割処理をして効率が悪化する(非分割処理向き)CSPはマルチプロセッサをどのように使って並列処理を試みても高速化は期待できないことがわかる．

5　おわりに

本稿では逐次処理と準並列処理の計算コストからCSPを分割／非分割処理向きに分類し，並列処理した場合の効率悪化の要因をCSPの構造上の特徴という形で示した．この結果は４頂点の制約ネットワークとなるCSPについて得られたものであるが，４頂点のネットワークが並列処理可能な基本的な位相構造であることを考慮すると多数の頂点から成る複雑なネットワークに対しても実験で考察した構造上の特徴を利用できると推測される．すなわち，ネットワークを構成する部分グラフの位置関係が４頂点ネットワークの位相構造に対応している場合や，部分グラフが４頂点のネットワークになっている場合である．

今後の課題としては，５頂点以上の複雑なネットワークに対し本稿の実験で考察した指針が適用可能かどうかを検証することが考えられる．

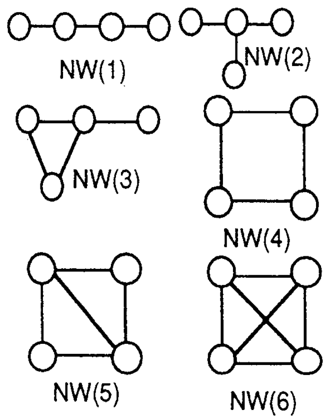

図２　頂点数４の位相構造

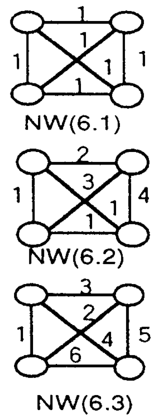

図３　NW(6)の種類

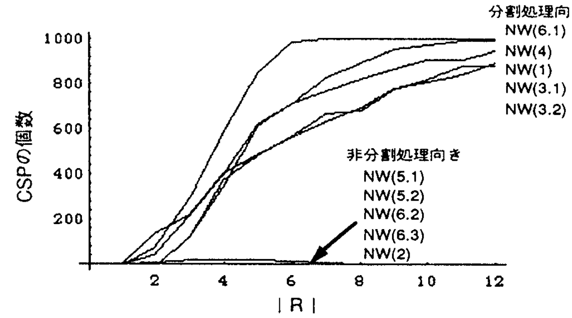

図４　分割処理向き／非分割処理向きの分類結果

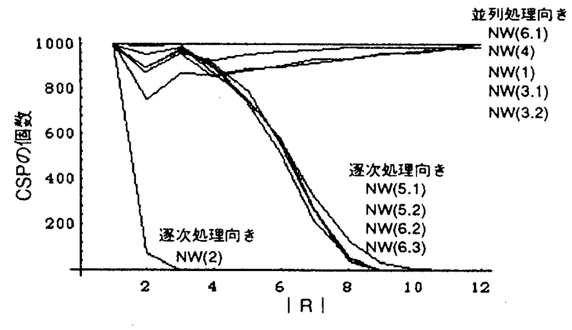

図５　並列処理向き／逐次処理向きの分類結果

参考文献

[1] Haralick,R.M.and Shapiro,L.G.:The Consistent Labeling Problem,Part I,IEEE Trans.Pattern Anal. Machine Intel., Vol.PAMI-1,No2,pp.173-184(1979)

[2] 塩澤恒道,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,情報論文誌 ,27,10,927-935(1986)

[3] 内野,窪田,李,山下,西原:制約グラフの局所性を用いた併合法の並列化について,第46回情処全国大会(1993)