分散最大制約充足問題の
高速解法に関する研究

能登研究室　　児島 真次 (16039)

1　はじめに

制約充足問題 (Constraint Satisfaction Problem: CSP) は，人工知能における多くの問題を定式化できる一般的な枠組であり，近年通常の CSP の枠組を拡張したものが研究されている．

本研究では，その中で分散不完全制約充足問題 (分散不完全 CSP) の部分クラスである，分散最大制約充足問題 (分散最大 CSP) の最適解を，分散最大 CSP を解くアルゴリズムである，近似解法の反復分散ブレイクアウト法と厳密解法の同期型分枝限定法という，二つの分散最大制約充足アルゴリズムを合わせて用いることにより，速く正確な最適解を求める方法を提案する．

2　グラフ色塗り問題

グラフ色塗り問題 (彩色問題) とは，任意のグラフと色数が与えられ，隣接しているもの同士は異なる色になるように塗ることである．そして，塗り方を工夫して色数を減らすことが問題となる．

グラフ色塗り問題は，CSP として簡単に定式化できるため，CSP の例題としてよく用いられてきた．そこで，分散最大 CSP として定式化したグラフ色塗り問題の最適解を高速に求めるシステムを提案することにより，分散最大 CSP の探索効率の向上を目指す．

3　制約充足問題

制約充足問題は，規定された制約を満たす可能な解を求める問題であり，変数，変数の値域 (変域)，変数間の制約からなる．CSP を解くとは，すべての制約を満たすような変数への割り当てを 1 組または全組求めることである．

3.1　分散不完全制約充足問題

CSP における変数および制約が，複数エージェントに分散されているような問題を扱う一般的な枠組みとして分散 CSP がある．しかし，現実の問題を分散 CSP として定式化する際，制約が強すぎて解がない (過制約) ということがある．このような過制約な分散 CSP の制約を許容できる範囲内で緩和し，その緩和して得られた分散 CSP の解を求める枠組みとして，分散不完全 CSP がある．

3.2　分散最大制約充足問題

本研究では分散不完全 CSP の構成要素の一部を次のように特定した分散最大 CSP を用いる．

任意のエージェント i について，

- P_i(エージェント i に分散されている過制約で解がない CSP) からいくつかの制約を取り除いた CSP が，PS_i(P_iを何らかの方法で緩和した CSP の集合) の要素となる．可能な取り除き方すべてについて PS_iの要素が対応する．
- PS_i内の問題 P_i'と P_iの距離は，取り除いた制約の数である．
- 距離を d_iとおくと，大域距離関数 G は $\max_i d_i$ である．

4　分散最大制約充足アルゴリズム

本研究で用いる分散最大 CSP の最適解を求めるアルゴリズムである，同期型分枝限定法と反復分散ブレイクアウト法の特徴を述べる．

同期型分枝限定法は，厳密解法であり通常の分枝限定法を複数エージェントでシミュレートするアルゴリズムである．一方，反復分散ブレイクアウト法は，近似解法であり分散最大 CSP に対し，分散ブレイクアウト法を繰り返し適用するアルゴリズムである．

4.1　分散最大制約充足アルゴリズムの問題点

本研究では，分散最大 CSP の最適解をより速く求めることを目的としているため，最適解を求めるアルゴリズムとして同期型分枝限定法を用いる．しかし，そのまま同期型分枝限定法を用いると，アルゴリズムの完全性は保証されているが，探索空間が膨大であると，実行時間内に解が求まらないことがある．そこで，いかにして探索空間を狭めるかが問題となる．

4.2　システムの提案

分散最大 CSP は，初期値として必要値 Nと充分値 Sを与える．分散最大 CSP の最適解を求めることを目指すため充分値 Sは 0 と設定する．同期型分枝限定法は，部分解の制約違反数の必要値が N以上になるとバックトラックし，また，必要値が N以上になることなく部分解を最後まで伸ばすことができれば，解を記憶し，その制約違反数を新たに Nとする．

本研究では必要値 Nの設定方法として，反復改善法である反復分散ブレイクアウト法を用いて効率的に設定する方法を提案する．反復分散ブレイクアウト法は近似解法なので，非常に早い段階で準最適解を得ることができる．この利点を活用して，同期型分枝限定法の前処理として，反復分散ブレイクアウト法を一定時間実行し，得られた準最適解の制約違反数を同期型分枝限定法の必要値 Nの初期値とする．

4.3　システムの構成

本研究で提案するシステムの流れを以下に示す．

1. 同期型分枝限定法を行う前処理として，反復分散ブレイクアウト法を一定時間実行する．
2. 反復分散ブレイクアウト法を行って，分散最大制約充足問題の準最適解を得る．
3. 得られた準最適解の制約違反数を同期型分枝限定法における必要値 Nの初期値とする．
4. この必要値 Nを用いて同期型分枝限定法を行う．

5　おわりに

本研究で提案したシステムでは，反復分散ブレイクアウト法が準最適解を非常に速い段階で得ることができることに着目し，反復分散ブレイクアウト法の準最適解の制約違反数を同期型分枝限定法の必要値 Nとすることにより，同期型分枝限定法の探索範囲を狭めることができ，探索効率を向上することができる．その結果，このシステムは，同期型分枝限定法が実行時間に求められないような問題に対しては，二つの分散最大制約充足アルゴリズムの欠点を改善し，利点を生かすことができる良質なシステムであると考えられる．このシステムを用いることにより，過制約の状態でのグラフ色塗り問題の解を高速に解くことが可能である．

しかし，このシステムでは，同期型分枝限定法が実行時間内に求まらない問題に対しては有効であると思われるが，探索範囲が小さい問題に対して有効かどうかは不明である．今後の課題としては，このシステムをどのくらいの探索範囲の問題に対して用いれば有効か調べることである．