

適応的温度調節機能を持つ並列 SA モデルの提案
輪湖純也

1 はじめに

シミュレーテッドアニーリング (SA) は、広範囲の組合せ最適化問題に有効な汎用近似解法である。温度と呼ばれるパラメータを用いて、改悪方向への状態遷移を確率的に受理することにより、局所解に陥らず大域最適解に到達することが期待される。しかしながら、緩慢な冷却による膨大な計算コストと、対象問題に適した温度スケジュールの設定が困難という問題点を有する。

SA の計算コストが高いという問題を克服するために、近年では SA を並列化するアプローチが注目されている。温度並列 SA (Temperature Parallel Simulated Annealing: TPSA) は、並列処理との高い親和性を持ち、温度スケジュールの設定を自動化する手法として、多くの対象問題に適用され、高い性能を示している。

一方、これまでの組合せ最適化問題に SA を適用した研究において、特定の温度領域で効率的に探索を行うことが報告されている。本研究では、この特定範囲の温度のことを重要温度領域と呼ぶ。しかし、重要温度領域は問題に依存し、明確な決定方法は明らかになっていない。

そこで本報告では、重要温度領域を自律的に探索する適応的温度調節機能を持つ並列 SA モデルを 2 つ提案する。1 つは、温度並列 SA の探索温度範囲を適応的に調節する TPSA/AT、もう 1 つは、並列に実行する SA の温度を遺伝的アルゴリズム (GA) によって決定する PSA/AT(GA) である。いずれの手法も、解の推移から解探索に最適な温度を決定することで、温度スケジュールの自動化が可能となる。

本研究では、提案手法をジョブショップスケジューリング問題 (JSP) に適用し、解探索能力を検証する。

2 適応的温度調節機能を持つ並列 SA

2.1 TPSA/AT

TPSA/AT (Temperature Parallel SA with Adaptive Temperature) は、解の値とは別に重要温度指数 (ITindex) という値を用いることにより、重要温度領域を探索するメカニズムを持つ。TPSA/AT のアルゴリズムを以下の Fig. 1 に示す。

ここでは、重要温度指数計算とその値を元にした温度範囲設定について示す。

● 重要温度指数計算

重要温度指数とは解の動きを評価する値で、重要温度領域に近い温度で解探索するとその符号が正にな

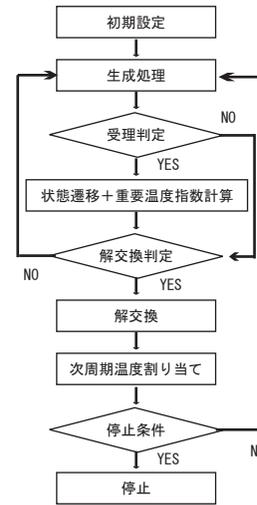


Fig. 1 Algorithm of TPSA/AT

るようにする。式 (1) に示すように、TPSA/AT では並列 SA の各プロセスに同一の基準値 (Criterion) を設定し、改良方向への解遷移が生じる場合、解と基準値との差を加算する。基準値には全プロセスの解の平均値を用いる。

$$ITindex = \sum_{k=1}^n (Criterion - Energy_k) \quad (1)$$

ここで、 n は解交換周期を表す。

● 温度範囲設定

解交換周期ごとに全プロセスが同期をとり、重要温度指数の比較を行う。その際、最高(最低)温度のプロセスが持つ重要温度指数の符号に基づいて、温度範囲の削減または追加・維持を行い、次周期の探索温度範囲を設定する。

つまり、重要温度指数が負である場合は、最高(最低)温度が高(低)すぎると判断して、次周期の温度を下げる。また指数が 0 である場合は、最高(最低)温度が低(高)すぎると判断して、次周期の温度を上げる。このように、重要温度指数が正になるように、温度範囲を調節することによって、重要温度領域に集中させるメカニズムとなっている。

2.2 PSA/AT(GA)

PSA/AT(GA) (Parallel SA with Adaptive Temperature determined by GA) では、複数のプロセスが同時に SA を実行する。それぞれのプロセスには異なった温度が割り当てられており、一定周期ごとに同期をとり、全てのプロセスの温度に対して GA オペレータを適用する。このことで、適合度が高いプロセスの温度が次世代にも生き残り、解探索が進むとともに重要温度領域へ収

束することが期待される．Fig. 2 に，PSA/AT(GA) のアルゴリズムを示す．

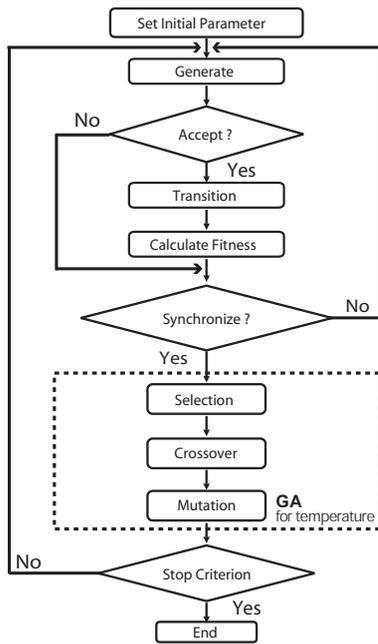


Fig. 2 Algorithm of PSA/AT(GA)

● 適合度計算

適合度 (Fitness) は，TPSA/AT と同様に式 (1) で計算される値である，ただし，PSA/AT(GA) ではこの計算が行われるのは， $(Criterion - Energy) > 0$ の場合のみである．

● GA による温度決定

一定周期の解探索ごとに全プロセスで同期を取り，全ての温度に対して選択，交叉，突然変異からなる遺伝的操作を行う．

まず，一定周期の解探索で計算した適合度から，解探索に適した適合度の高い温度を選択する．次に温度を表現するビット列に対して，交叉と突然変異を適用する．なお，PSA/AT(GA) ではこのビット列をデコードした値で式 (2) の X を表現し，この式を計算することで各プロセスの温度を決定している．

$$Temperature = 10^X \quad (2)$$

PSA/AT(GA) では，実行前にパラメータとして最高温度と最低温度を設定し，各プロセスが持つ個体はそれらの間の温度を持つ．例えば，最低温度を 10^{-2} ，最高温度を 10^6 とした場合， X は $[-2, 6]$ を表現する．

3 数値実験

TPSA/AT, PSA/AT(GA) を用いて，数値実験を行い解探索性能を検証する．対象問題には，JSP の代表的なベンチマーク問題である FT10, ORB1, LA40 を用いる．TPSA/AT, PSA/AT(GA), TPSA を同じパラメータで比較する．

まず，FT10 における TPSA/AT, PSA/AT(GA), TPSA の各温度スケジュールを Fig. 3 示す．図の横軸に探索数，縦軸に温度をとり，最良解の温度スケジュー

ルを示している．灰色で示す温度範囲が，FT10 における重要温度領域である．

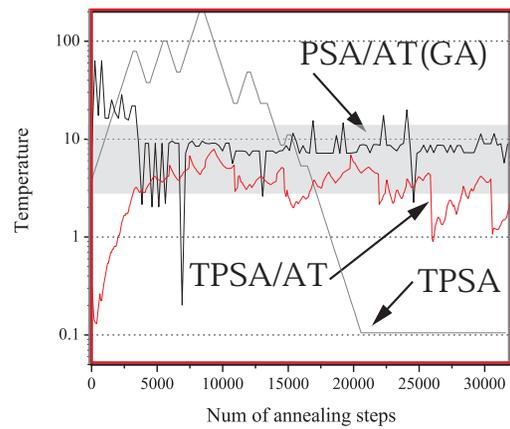


Fig. 3 An example of cooling Schedule in FT10

この図から，TPSA/AT, PSA/AT(GA) では，探索温度範囲が重要温度領域に集中することが分かる．

次に，各問題に対する実験結果を Fig. 4 に示す．図の横軸に対象問題，縦軸に最適解との誤差率 (%) を示す．なお，結果は 20 回試行の平均である．

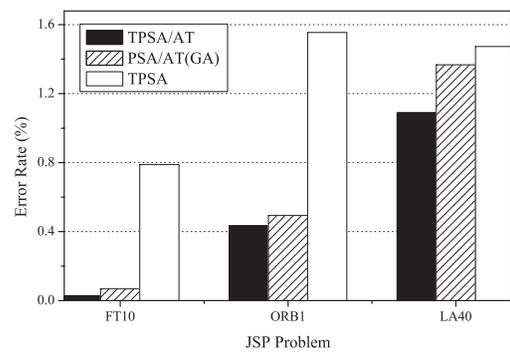


Fig. 4 Comparison of error rate

この図から，全ての問題に対して TPSA/AT, PSA/AT(GA) の解探索性能は TPSA よりも優れていることが分かる．このことは，TPSA/AT, PSA/AT(GA) の重要温度領域に収束する温度スケジュールが TPSA の温度スケジュールよりも探索に効果的であることを示している．

今後の課題は，両提案手法をより実用的な組合せ最適化問題に適用し，その有効性を検証することである．

4 最後に

SA 班では，年間を通して積極的な活動を行っているので，次の項目に当てはまると思う人は，ぜひ SA 班で頑張ってもらいたい．

- 学会発表・論文投稿をしたい人
- 実問題を解いてみたい人
- チームワークで研究を進めたい人