

## 3 並列型近傍幅調節機能を持つシミュレーテッドアニーリング

三木 光範<sup>†</sup> 廣安 知之<sup>†</sup> 平尾 洋樹<sup>††</sup><sup>†</sup>同志社大学工学部 <sup>††</sup>同志社大学工学部学生

## 1 はじめに

Simulated Annealing(SA)は、高温で加熱した金属の温度を徐々に下げて冷やすことによって、元の金属より欠陥の少ない優れた結晶構造を作る物理プロセス(焼きなまし)を計算機上で模倣した最適化手法である。

連続最適化問題にSAを適用する場合、適切な近傍幅の設定が重要となるが[1]、そのためには多くの計算コストがかかる。これまでの研究で、探索過程において一定の近傍幅を用いるよりも、探索序盤では大きな近傍幅で大域的探索を、探索終盤では小さな近傍幅で局所的探索を行うことにより、解精度が向上することがわかっている[2]。しかしながら、近傍幅を小さくする時期を誤ると局所解に陥る場合がある。近傍幅が小さい状態で局所解に陥った場合は、その局所解を抜け出すことはできないため、近傍幅スケジュールは調節が容易ではない[2]。

近傍幅に関する研究はこれまでに多くなされており[3]、その中の1つの手法として、2分木を用いた近傍幅調節機能を持つSA(SA/AN(BT))[2]がある。本研究では、この拡張として、3つの異なる近傍幅を持つプロセスで並列に探索を行うことにより、適応的な近傍幅調節を行うSA(Parallel Simulated Annealing with Adaptive Neighborhood using Three Neighborhood Ranges:PSA/AN(3N))を提案し、その有効性を示す。

## 2 2分木型近傍幅調節機能を持つSA

SA/AN(BT)のメカニズムでは、一定周期で同期をとり、その周期の間に最良値の更新がなければ、現在の近傍幅をもとに、拡大および縮小した近傍幅を生成し、2つのプロセスに分岐する。そして、2つの近傍幅を用いて並列に探索を行い、一定周期後、良好な結果を得たプロセスを採用し、1つのプロセスで探索を続ける。このとき、2つのプロセスともに解の更新がなければ、近傍幅をさらに拡大および縮小し並列探索を進める。すなわち、解が更新されるまで2つの近傍幅

は拡大および縮小し続け、並列探索を行う。なお、近傍幅の分岐後は、これまでの探索で最良値を得た探索点から探索を再開する。これにより、最良値を記録した探索点が最適解領域に入っている場合には、最適解領域における局所的探索が保証される[2]。

SA/AN(BT)の問題点として、小近傍で局所的探索をしているにも関わらず、局所解に陥っているため、ある一定以上の解の更新が見られなく、大近傍で大域的探索をしているにも関わらず、今までよりも良い値を見つけ局所解を抜け出すこともできなく、探索が途中で停滞してしまうことが多い。これは、大近傍が適切な近傍幅を超えて設計変数空間の大きさまで拡大し続けてしまい、探索範囲が広すぎるこの状態で局所解を抜け出す可能性は低いためであると考えられる。

異なる近傍幅を持つプロセス数を増やすと最適解領域への到達率の向上が期待できるが、計算コストの面で評価計算回数をそろえると、各プロセスでの探索回数はその分減らさなければならない。本研究では、プロセス数と探索回数のバランスを求め、このSA/AN(BT)に対し大小近傍幅の間に中近傍を設け、全体的な解探索性能の向上を図ることを目的とする。

## 3 提案手法のアルゴリズム

クーリング周期内で、一定周期(同期間隔)ごとに、最良値の更新が行われたかどうかを3つのプロセスについて判定する。その後、それぞれの条件に応じて次周期での近傍幅を決定する(近傍調節)。なお、同期後の探索は、3つのプロセスの最良値の中で最も良い解を得た探索点からか、それぞれのプロセスの最良値を得た探索点から開始することが考えられる。これについて検討し、良好な結果が得られた前者を採用する。

このメカニズムでは、近傍幅の異なる3つのプロセスに対して解精度を比較することにより、複数の近傍幅を序々に拡大および縮小していく。この3つのプロセスの近傍を、大きい近傍幅を持つプロセスから順に、大近傍、中近傍、小近傍と呼ぶ。これにより、最適解領域に到達した場合には近傍幅の縮小操作によって局所的探索を行い、局所解に陥った場合には近傍幅の拡大操作によって局所解から抜け出すことが期待できる。

大中小の3つの近傍があり、最良値の更新があるとき、次周期における近傍幅は、解の更新があった近傍を中近傍として探索を続ける。一方、最良値の更新が

Parallel Simulated Annealing with Adaptive Neighborhood using Three Neighborhood Ranges

<sup>†</sup> Mitsunori MIKI(mmiki@mail.doshisha.ac.jp)

<sup>†</sup> Tomoyuki HIROYASU(tomo@is.doshisha.ac.jp)

<sup>††</sup> Hiroki HIRAO(hhirao@mikilab.doshisha.ac.jp)

Department of Knowledge Engineering and Computer Science, Doshisha University (<sup>†</sup>)

Undergraduate Student, Doshisha University (<sup>††</sup>)

1-3 Miyakodani, Tatara, Kyotanabe, Kyoto 610-0321, Japan

ないとき、中近傍をそのままにして、大近傍を拡大し、小近傍を縮小させる。それでも更新がないとき、再びこの操作を繰り返す。提案手法における近傍調節アルゴリズムを図1に示す。

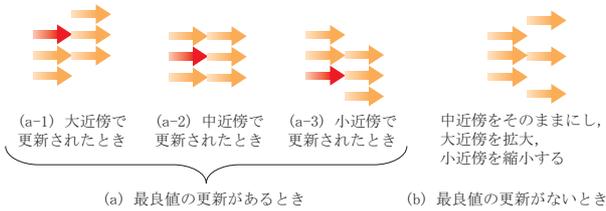


図 1: 3 並列型近傍調節アルゴリズム

ただし、近傍幅の上限と下限をあらかじめ決めておき、その範囲を超えるときは、大近傍、小近傍に対して、定めた近傍幅を超えないような処理を行う。

また、下限において小近傍の最良値が微小に更新されても、最良値の更新があったとはみなさず、3つの近傍幅を変化させないことにしている。

#### 4 数値実験

提案手法 (PSA/AN(3N)) の有効性を検証するため、数値実験を行う。対象問題は 3 次元の Rastrigin 関数、Griewank 関数、Schwefel 関数に適用した。ただし、紙面の都合上、Griewank 関数の結果のみ載せる。

Griewank 関数は、式 (1) で表される設計変数間に依存関係をもつ多峰性関数である。大域的には単峰性関数のような性質をもつため、準最適解は比較的容易に求めることができるが、局所的には多数の局所解が存在し、最適解を発見するのは困難である。

$$F_{Griewank}(x) = 1 + \sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{4000} - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) \quad (1)$$

$$(-512 \leq x_i < 512)$$

$$\min(F_{Griewank}(x) = F(0, 0, \dots, 0)) = 0$$

各手法で 50 回試行を行い、各試行の最良値を昇順に並び替えた結果を、図2に示す。なお、各パラメータは予備実験により求めた最適な値を用いている。

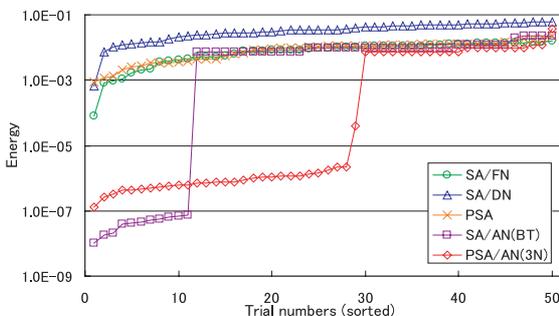


図 2: 各手法の性能比較

Griewank 関数の準最適解は、約  $7.4 \times 10^{-3}$  である。近傍幅縮小機能を持つ SA(SA/DN) ではすべてが局所解に陥っており、従来の最適な固定近傍幅を持つ

SA(SA/FN)、独立型並列 SA(PSA) でも最適解領域に 10%程度しか入っていない。また、SA/AN(BT)、および提案手法 (PSA/AN(3N)) では、いずれも最適解領域に入ってから局所的探索に強く最良値の精度が高い。さらに、SA/AN(BT) の方が提案手法よりも最良値の精度が高い。これは、各手法の評価計算回数をそろえているので、SA/AN(BT) の方が、アニーリングステップ数が多く、その分だけ最適解領域に入った後、長く局所的探索を行うことができるためであると考えられる。一方、最適解領域への到達率は、提案手法の方が高く、中央値の解精度が高い。

#### 5 アルゴリズムの有効性

ある 1 試行におけるエネルギー値と近傍幅の履歴を、図3に示す。

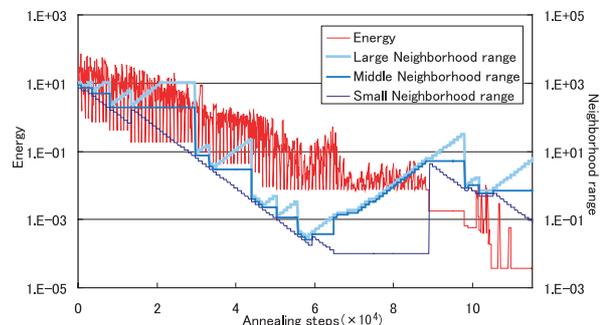


図 3: エネルギー値と近傍幅の履歴

局所解に陥った場合、近傍幅が拡大することで局所解を抜け出すことがわかる。その後、局所的探索を行い、高い解精度が得られている。以上より、近傍幅が拡大することで局所解を抜け出すというアルゴリズムが機能していることが確認された。

SA/AN(BT) の拡張として、異なる近傍幅を持つプロセス数を増やすと、解探索性能は向上した。しかし、プロセス数を増やすと、計算コストが多くなるという欠点を伴う。このような計算コストと最適解領域への到達率におけるトレードオフの関係を考慮した場合、SA/AN(BT) および提案手法はバランスが良いと考えられる。SA/AN(BT) と提案手法を同じ評価計算回数で比較するとき、解精度を求めるならば SA/AN(BT)、最適解領域への到達率を求めるならば提案手法を適用するというように、対象問題や目的に合わせて適切な手法を選択する必要がある。

#### 参考文献

- [1] 喜多一．シミュレーテッドアニーリング．日本ファジィ学会誌 Vol.9, No.6 pp.875-880, 1997．
- [2] 三木光範，廣安知之，宮崎真．2 分木を用いた近傍調節機能を持つシミュレーテッドアニーリング．情報処理学会第 67 回全国大会講演論文集，Vol.1, pp.259-260, 2005
- [3] 上坂吉則．シミュレーテッドアニーリングの摂動近傍と収束速度について．電子情報通信学会技術報告．1990．