

SA における総アニーリング数の検討  
宮崎 真

1 はじめに

今回, JAVA により SA を実装し, SA を理解すると共に, そのパラメータの重要性を確かめた.

本報告では, SA のアルゴリズムの概要を説明し, また総アニーリング数に重点をおき, 様々なパラメータの検討をもとに, 解の挙動を検証する.

2 SA の概要

シミュレーテッドアニーリング (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, もと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.

SA では, アニーリング (「生成」「受理判定」「状態遷移」)、「クーリング (冷却)」を繰り返すことにより, 最適解を求める. 必要となるパラメータとして「生成」における近傍, 最高温度, 最低温度, クーリング数, 総アニーリング数があり, これらが解に影響を与える.

以下基本アルゴリズムを示す.

1. 初期設定

- 温度  $T$  を初期化する ( $T_k = T_1$ )
- 初期状態  $x_0$  より, 初期状態エネルギー  $E$  を計算.

2. 現在の温度  $T_k$  で一定期間, 次の処理を繰り返す.

- 現在の状態から次の状態  $x'$  を生成.
- 次の状態  $x'$  のエネルギー  $E'$  を計算.
- エネルギーの差分  $E(= E' - E)$ , 温度  $T_k$  より, 次の状態を受理判定.
- 受理の場合, 次状態に推移 ( $x'$  が  $x$  に,  $E'$  が  $E$  となる).

3. クーリング

- 一定期間アニーリングの後にクーリングを行い, 次の温度  $T_{k+1}$  を求める.
- 再びアニーリングを行う.

4. 終了温度が十分に下がり, 停止条件に達すればそのときの  $x$  を最適状態,  $E$  を最適値とし終了.

Fig. 1 にそのフローチャートを示す.

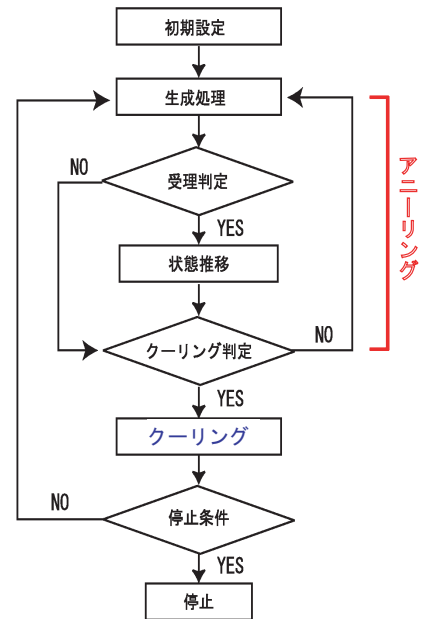


Fig. 1 SA のアルゴリズム

3 SA の特徴

長所

- 頑強性 : 準最適解に到達.
- 汎用性 : 広範囲な問題に適用可能.

短所

- 非効率性 : 非常に多くの計算量を要する.
- 操作性 : パラメータチューニングが容易でない.

4 数値実験

4.1 実験概要

式 (1) に示す Rastrigin 関数を対象に, アニーリングステップについて検討を行った. Rastrigin 関数は, 設計変数間に依存関係を持たない多峰性関数である. Fig. 2 に設計変数 2 次元の場合の外形 (a) とエネルギーの等高線 (b) を示す.

$$F_{\text{Rastrigin}}(x) = 10n + \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i))$$

$$(-5.12 \leq x_i \leq 5.12) \tag{1}$$

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

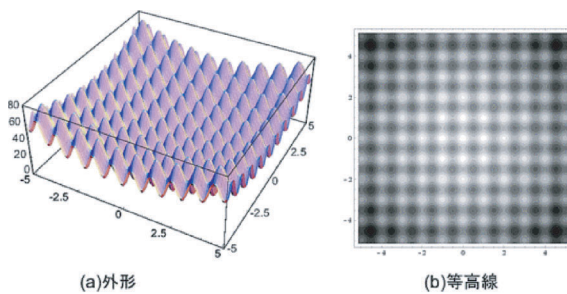


Fig. 2 Rastrigin 関数

## 4.2 実験結果

### 4.2.1 総アニーリング数の検討

総アニーリング数を増加することで、得られる解の精度に与える影響を検証した。Fig. 3 に 100 回試行での中央値の解探索履歴を示し、Table 1 にその値を示す。

Table 1 総アニーリング数に対する中央値の変化

総アニーリング数	エネルギー値 (中央値)
120000	0.001468
220000	0.001412
320000	0.000812
420000	0.000723
520000	0.000361
620000	0.000340

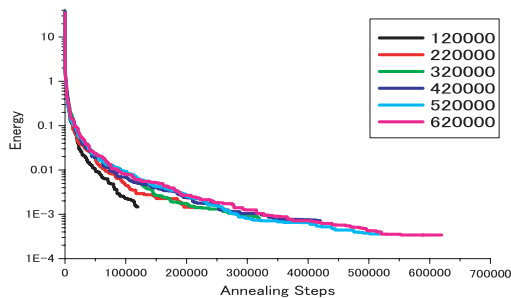


Fig. 3 100 回試行における中央値の解探索履歴

Fig. 3 のグラフでは、総ステップ数が増加するほど、得られる解がより最適なものに近づいている。これより、総アニーリング数は増やすほど、より良い解が得られることがわかる。

### 4.2.2 近傍と総アニーリング数の検討

総アニーリング数による解の収束の状況を、近傍を変化させることにより検証した。近傍を 0.1, 0.5, 0.9, 1.0, 2.0 と変化させ、いずれも試行回数を 100 回とし、それぞれの分散を求めた。結果を Fig. 4 に示す。

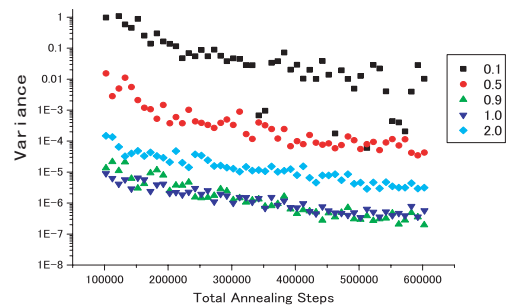


Fig. 4 総アニーリング数に対する最良エネルギーの分散

Fig. 4 より、どの近傍においても、総アニーリング数が増えるにつれ分散が小さくなり、得られる解のばらつきが少なくなるため、解の精度は向上することがわかる。

また、同じ総アニーリング数では、各近傍により分散が異なる。近傍が 1.0, 0.9 で分散が小さく、得られる解のばらつきが少ない。近傍をその値より小さくすると、分散が大きくなり、得られる解のばらつきが多くなる。近傍を 1.0 より大きくした場合でも、分散は大きくなり、解のばらつきが多くなる。

## 5 まとめ

本報告では、SA のパラメータである総アニーリング数の変化による最適解の変動、および総アニーリング数に対しての近傍パラメータ変化による解の精度の変動について検証した。その結果、総アニーリング数は増やすほど、解の値は良くなることがわかった。また、近傍を変化させての総アニーリング数の検討では、分散の観点から、総アニーリング数に応じた解の収束状況が近傍の値により異なり、解の精度が異なるといえる。このことから、総アニーリング数を決める上で、近傍の設計が重要であるといえる。

総アニーリング数は増やすほどより良い解が求まるのだが、総アニーリング数を増やすことと、計算時間短縮にはトレードオフの関係がある。結局のところ、計算コストを考慮し、総アニーリング数を決定する必要がある。

## 参考文献

- 1) 同志社大学工学部 知的システムデザイン研究室 並列分散遺伝的アルゴリズム研究グループ. 対象問題.  
<http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/research/pdga/pages/problems.html>.
- 2) 第 1 回 SA・GA ゼミ資料, 知的システムデザイン研究室, 2004. 高畑泰祐, 宮崎真, 中請隆  
<http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/research/pdga/pages/problems.html>.
- 3) SA の概要と自作 SA の性能検証  
宇野 尚子, 廣安 知之, 三木 光範  
<http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/research/pdga/pages/problems.html>.