

# 進化的アルゴリズムとシミュレーテッドアニーリング

町田 啓悟, 市野 博  
Keigo MACHIDA, Hiroshi ICHINO

## 1 はじめに

近年, 問題の大規模化により適切な計画, 設計を行うために膨大な時間が必要になっている. 問題の大規模化の例として集積回路の設計問題が挙げられる. 設計問題とは 10 万個以上ある集積回路の素子を配線の長さが短くなるように配置することである. しかしこれを人手で行うことは非常に時間がかかる. このため, できるだけ配線の長さが短くなるような配置を短い時間で求める手法が重要となる.

## 2 最適化

最適化とは, ある制約条件下で目的関数の最大・最小点を求める手法である. 最適化の問題点は最適解が複数存在する場合である. 解が複数ある場合の関数を Fig. 1 に示す. もし局所的な解に収束したとき, 他の最適解を探索できない.

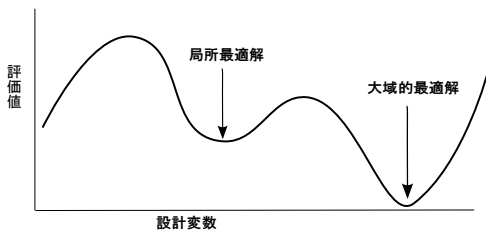


Fig.1 最適解が複数ある関数

局所最適解に陥りにくい手法として進化的アルゴリズム, シミュレーテッドアニーリング (SA) といった手法が注目されている. 進化的アルゴリズムとは生物進化から着想された最適化・探索アルゴリズムの総称を示す. その中でも代表的な手法として遺伝的アルゴリズム (GA) が挙げられる.

## 3 遺伝的アルゴリズム (GA)

### 3.1 概要

GA は複数の探索点が相互作用しながら消滅, 生成をすることで新たな世代を作り実用解を目指す. 複数の探索点はそれぞれ個体と呼ばれる. 複数の個体 (個体集団) に対して生物の進化から着想された操作を行うことで探索範囲から効率よく探索を行う. 適用例にはプランニングおよび組み合わせ最適化がある<sup>1)</sup>.

### 3.2 手法

GA のアルゴリズムの流れを Fig. 2 に示す.

- 1) 初期化  
初期の個体はランダムに生成される.
- 2) 初期個体の評価

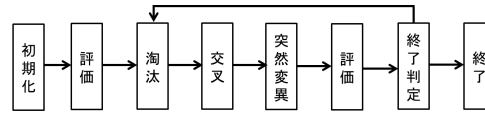


Fig.2 GA の流れ

各個体は染色体 (通常 0 と 1) をもち, 適応度と呼ばれる評価値によってその個体が評価される. 評価方法は各問題によって様々である. 評価は 2 つ以上の要素を組み合わせることもできる.

### 3) 淘汰

淘汰とは現在の世代から適応度の高い個体のみを重複を許し選択する操作である. また, 適応度に基づく淘汰・増殖, 個体集団中の多様性の維持が, 淘汰にとって重要な要素となる. この二点を実現する方法としてルーレット選択などの手法が存在する.

### 4) 交叉

交叉とは適応度が高い個体を尊重するとともに, それらをもとに新しい個体を発生させる操作である. シンプルな GA では選択後の N 個の個体からランダムに二つ選びペアをつくる. 次に交叉率と呼ばれる確率 (60~90 %) に基づきそのペアの交叉判定を行う. 決定したペアから新しい 2 つの染色体を作る. 交叉方法には 1 点交叉, 2 点交叉, 多点交叉およびブレンド交叉などがある.

### 5) 突然変異

突然変異とは, 全個体の全染色体に対して非常に小さな確率 (0.1~5 %) で染色体をランダムに変化させる操作である. 突然変異によって交叉では生じない遺伝子型を生成することができ, 局所解からの脱出が可能になる. これによって最悪でもランダムサーチ程度の探索性能は確保される.

### 6) 評価

生成された個体の評価を行う. 評価方法は初期個体の評価と同様である.

### 7) 終了判定

世代数  $\geq$  一定値または 適応度  $\geq$  一定値 なら終了, その時の世代で最も適応度が高いものが最適解となる. それ以外なら個体評価へ.

### 3.3 特徴

GA は多くの最適化問題に適用できるアルゴリズムである. 得られる解の質が高く, 組み合わせ爆発を起こすような巨大な問題の探索も可能である. さらに GA は改悪も認めるという方針のため, 局所解からの脱出が可能である. 理論的解析が現時点では十分ではなく, 何故最

適解に収束するか分かっていない。しかし経験的に最適解になることが保証されている。

## 4 シミュレーテッドアニーリング (SA)

### 4.1 概要

SA は、別名で疑似焼き鈍し法と呼ぶ。高熱で加熱した金属は、徐々に温度を下げることによって、もとの金属より安定した優れた結晶構造を作ることができる<sup>2)</sup>。この金属熱処理の技術を焼き鈍しと呼ぶ。焼き鈍しにより金属原子が整列し物質としてのエネルギーが最小になる。SA はこのエネルギーが最小になるという性質を利用した最適化手法である。

### 4.2 手法

SA は現在の探索点の評価値と、仮に探索点を動かした場合の評価値をもとに、次の探索点を決定する。仮の探索点の評価が現在の探索点の評価よりも良い場合、仮の探索点があるまま次の探索点となる。評価が良くなった場合のみ移動を許可する手法の問題点は、局所解に陥るとそこから抜け出せない点である。

そこで SA では温度と呼ばれるパラメータを用意し、メトロポリス法と呼ばれる手法を用いる。この手法は次の式 (1) と乱数を比較し、確率によって最適解から遠ざかる移動も許すという方法である<sup>3)</sup>。この処理を行うことで解に改良が見られない場合でも新しい解に移る可能性を残すことができ、局所解に陥ることを防ぐ。

$$A(E, E', T) = \begin{cases} 1 & (if \Delta E < 0) \\ \exp(-\frac{\Delta E}{T}) & (otherwise) \end{cases} \quad (1)$$

Fig. 3 に SA の流れを示す。

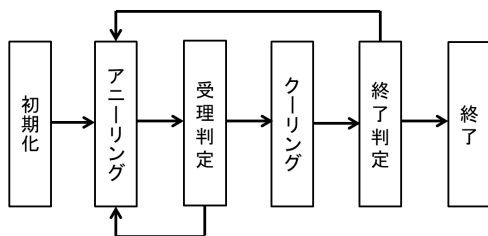


Fig.3 SA の流れ

- 1) 初期設定  
温度  $T$  を初期化。解の初期状態  $x_0$  を与える。初期状態での評価値を計算する。
- 2) アニーリング  
現在の状態  $x$  から次の状態  $x'$  を生成。次状態  $x'$  での評価値  $E'$  を計算し、評価値の差分計算  $\Delta E = E' - E$  を行う。
- 3) 受理判定  
温度  $T$  から式 (1) により次状態を受理するか否かの判定を行う<sup>3)</sup>。現在の温度  $T$  で一定回数アニーリングと受理判定を行う。
- 4) クーリング  
冷却  $T' = rT (0.8 < r < 1.0)$  を求める。
- 5) 終了条件  
温度  $T \approx 0$  または評価値が規定値以上（もしくは以

下) なら終了。それ以外ならアニーリングへ。

### 4.3 特徴

SA の長所は、改悪の受理を行うため局所解に陥りにくいという点である。さらにアルゴリズムが非常にシンプルのため、実装が容易であるという点が挙げられる。また GA と異なり、SA は理論的に最適解に収束できる理由が証明されている。

短所としては、パラメータに依存するという点である。温度は近接解との自由な交換を許容するのに十分高温でなければならない。しかし、解同士のエネルギーの差の最大値は実問題において容易に定まらない。このため問題ごとにパラメータをチューニングしなければならない。

### 4.4 実装

SA の適用例の一つに巡回セールスマン問題がある。Table 1 のパラメータによって最短経路を求めたときの距離の推移を Fig. 4 に示す。SA は改悪を認めるため距離は長くなることもある。しかし全体的には距離は短くなっていき最終的に収束していることがわかる。

Table1 巡回セールスマン問題・パラメータ

都市数	20
アニーリング回数	400
冷却率 $r$	0.97
初期温度 $T$	110
クーリング回数	170

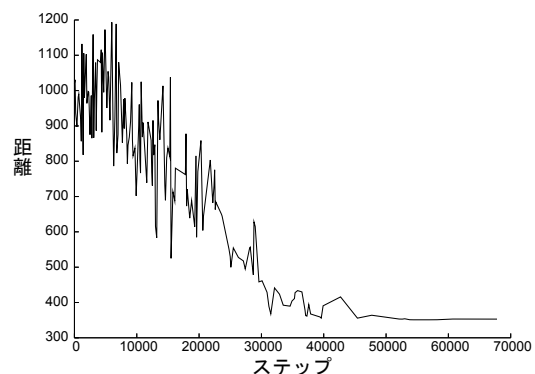


Fig.4 距離の推移

## 5 最新の技術

最近 GA によって実用化されたものとしては、新幹線の形状の最適化が挙げられる。凹凸を最適化することで、気圧差の影響を受けにくい形状を探索した。これにより、速度を上げると危険だった箇所においても速度を維持することが可能となり、東京 - 大阪間が最大 5 分短縮できている。さらに GA によって複数台のエレベータの制御を最適化し、待ち時間の短縮が可能となったエレベータシステムが注目されている。待ち時間が減ることでエレベータ待ちによるストレスが軽減すると考えられる。

### 参考文献

- 1) 吉田紀彦. やわらかい情報処理. サイエンス社, 東京, 2003.
- 2) 長尾智晴. 最適化アルゴリズム. 昭晃堂, 東京, 2004.
- 3) 三木光範. 知的システム工学. 共立出版, 東京, 2011.