

## 最適化問題における焼きなまし法の効果の検討

大谷 紀子 研究室  
0732133 武川 静香

### 1. 研究の背景と目的

最適化問題は、定義された特定の条件のなかで、最も良い解を探索して求める問題である [1]。また、解が順序や割当のような組み合わせ的な性質を持つ最適化問題を組み合わせ最適化問題という。例として、ナップサック問題や巡回セールスマン問題、最短経路問題、最少全域木問題、線形計画問題、整数計画問題などがある。最適化問題を解くために用いられる手法には、局所探索、焼きなまし法、タブーサーチ、群知能、遺伝的アルゴリズムなどがある。

本研究では、基本的な最適化アルゴリズムのうち、1 つの解の近傍探索を行う焼きなまし法と、複数解を並行探索する遺伝的アルゴリズムについて、基本的な最適化問題における効果の違いを検討することを目的とする。

### 2. 最適化問題

本研究では、OneMax 問題と Harik の部分だまし問題の 2 つを対象とする。

#### 2.1 OneMax 問題

OneMax 問題は、最も基本的な最適化問題である。OneMax 問題の内容を以下に記す。

解の形式：長さ  $n$  のビット列

適応度：ビット列のなかの 1 であるビット数

目的：適応度の最も高いビット列を求める

最適解：全ビットが 1 であるビット列

#### 2.2 Harik の部分だまし問題

Harik の部分だまし問題は、OneMax 問題を拡張させたものである。最適解のビット列と次に良い解のビット列のハミング距離が離れているため、最適解を探索することが困難な問題として、最適化アルゴリズムの性能比較に利用される。Harik の部分だまし問題の内容を以下に記す。

解の形式：長さ  $n$  のビット列が  $m$  個並んでいるビット列  $B$

評価値：長さ  $n$  のビット列で全ビットが 0 である場合は  $n+1$ 、それ以外の場合は 1 のビット数

適応度：各ビット列の評価値の総和

目的：適応度の最も高いビット列  $B$  を求める

最適解：全ビットが 0 であるビット列  $B$

### 3. 焼きなまし法

焼きなまし法とは、金属加工の焼きなましを模した確率的探索アルゴリズムである [2]。金属の焼きなましとは、金属材料を高温に熱した後で徐々に冷やして、結晶を成長させて内部のひずみなどの欠陥を減らし、よりよい金属を作る作業である。焼きなまし法では、状態を遷移させて繰り返し解を探

索することで、最適解を発見する。処理の流れは以下の通りである。

Step1 初期温度  $T$  と冷却スケジュールを設定する。

Step2 はじめの候補解  $x$  をランダムに生成し評価する。

Step3  $x$  の近似解  $x'$  を生成し評価する。

Step4 ある確率で  $x'$  を新しい候補解とする。

Step5 温度を下げる。

Step6  $T$  が指定された温度以下になるまで、Step3~5 を繰り返す。

Step1 で初期温度  $T$  を高温に設定することで、大域的な探索が可能となる。冷却スケジュールは、温度を下げる割合である。Step4 では、 $x$  より  $x'$  の評価値が良い場合は必ず  $x'$  を  $x$  に置き換える。悪い場合は  $T$  の温度が高いほど  $x'$  を  $x$  に置き換える確率が高くなり、 $T$  の温度が低いほど  $x'$  を  $x$  で置き換える確率が低くなる。以下のように焼きなまし法では、評価値が低い解にも遷移する可能性があるため、局所解への収束を回避することができる。

#### 4. 評価実験

初期温度  $T=100.0$ 、冷却スケジュール  $0.9$ 、終了温度  $0.1$  として、それぞれの問題に対して最適解の探索を行った。また、焼きなまし法の精度を調べるために、得られた解と最適解の離れ具合を表す近似比を算出した。近似比は得られた解の適応度÷最適解の適応度で求められ、1 に近いほど良いと判断できる。

OneMax 問題では、ビット列の長さ  $n$  を 400 として探索を 20 回行ったところ、得られた解の適応度は、最高 236、最低 215、平均 223.95 となった。また、近似比は 0.59 となった。

Harik の部分だまし問題では、ビット列の長さ  $n$  を 4、ビット列の個数  $m$  を 100 として探索を 20 回行ったところ、得られた解の適応度は、最高 265、最低 245、平均 256 となった。また、近似比は 0.53 となった。

#### 5. 考察

適応度がなだらかに収束に向かう場合や激しく変動し急速に収束する場合があります。適応度の推移は探索ごとに大きく異なる結果となった。また、探索途中で得られた最良解が候補解として保持されなかったため、最良解より評価の低い解が最良解として出力される結果となった。したがって、最良解を候補解とは別に保持しておくことにより、精度を向上させることができると考えられる。

遺伝的アルゴリズムを用いて探索を行ったところ、得られた解の適応度は、OneMax 問題で 235、Harik の部分だまし問題で 272 となった。また、近似比は、OneMax 問題で 0.59、Harik の部分だまし問題で 0.54 となった。

遺伝的アルゴリズムを用いた場合と比較した結果、それぞれのアルゴリズムの精度にほぼ差はなく、焼きなまし法は、短時間で解を得ることができるが、探索ごとに解が大きく異なる。遺伝的アルゴリズムは、焼きなまし法に比べ処理時間がかかるが、ほぼ一定の解を得ることができるという傾向が明らかになった。

#### 参考文献

[1] 茨木俊秀, 柳浦睦憲, “組合わせ最適化: メタ戦略を中心として,” 朝倉書店, 2001.

[2] 伊庭斉志, “C による探索プログラミング: 基礎から遺伝的アルゴリズムまで,” オーム社, 2008.