

# シミュレーテッドアニーリングプログラミングの掃除問題への適用

松井 勇樹

## 1 はじめに

近年、ロボットの行動を制御する行動規則などのプログラムをコンピュータによって自動生成する自動プログラミングが注目されている。これは、人間が予め想定できないような状況にも対応できるプログラムを人の手で作ることは容易でないためである。この自動プログラミングの手法として、我々の研究室ではシミュレーテッドアニーリングプログラミング (Simulated Annealing Programming:SAP)<sup>1)</sup> の研究を行っている。SAP は、シミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing : SA) を木構造が扱えるように拡張した手法であり、先行研究においてベンチマーク問題における有効性が示されている<sup>1)</sup>。しかし、実環境を対象とした研究はほとんど行われていない。本研究では、実環境を対象とした問題として、掃除ロボットの行動規則を扱い、SAP の性能を検討する。

## 2 シミュレーテッドアニーリングプログラミング (SAP)

SAP のアルゴリズムは SA と同様に、生成処理、受理判定、状態遷移、クーリングを繰り返す。以下に詳細を示す。

### 1. 生成処理

Fig. 1 に生成処理の様子を示す。Fig. 1 のように現在の解である木構造からランダムにノードを選択し、選択されたノードを根とする部分木を削除する。次に削除した部分に、ランダムに生成した部分木を挿入し、次解候補の木構造を生成する。

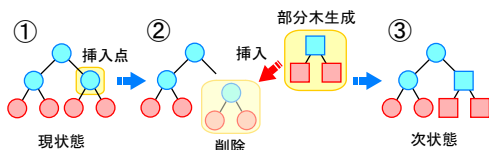


Fig.1 生成処理 (出典：自作)

### 2. 受理判定, 状態遷移

現在の解の評価値  $E$  と次解候補の評価値  $E'$  との差分  $\Delta E (= E' - E)$ 、及び温度パラメータ  $T$  を基に、次状態を受理するか否かの判定を行う。この判定には式 (1) に示す Metropolis 基準を用いる。

$$P_{AC} = \begin{cases} 1 & \text{if } \Delta E \leq 0 \\ \exp(-\frac{\Delta E}{T}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

式 (1) の  $P_{AC}$  は受理確率であり、次解候補が改良方向へ生成された場合は無条件で受理し、改悪方向へ生成された場合でも確率的に受理される。

### 3. クーリング

上記で示した 1. と 2. の操作を繰り返す行いうことをアニーリングと呼び、一定期間アニーリングを行った後、温度パラメータ  $T_k$  を小さくする。冷却後の温度  $T_{k+1}$  は式 (2) に示す指数型アニーリングを用いて決定する。なお、 $\gamma$  はクーリング率である。

$$T_{k+1} = \gamma T_k \quad (0.8 \leq \gamma < 1) \quad (2)$$

## 3 対象問題

本研究では、実環境を対象とした問題として掃除ロボットの行動規則を扱い、これを掃除問題と呼ぶ。掃除問題とは、1 体のエージェントが限られたエネルギー内で任意に設定したフィールド内を、通り残した領域ができるだけ少なくなるように移動することを目的とする問題である。設定した環境は以下の通りである。

### ● フィールド

Fig. 2 にフィールドの様子を示す。Fig. 2 のようにフィールドは  $10 \times 10$  マスとし、エージェントの初期設定は左下の位置で方向は上向きとする。なお、1 マスの一辺の長さはエージェントの直径とする。

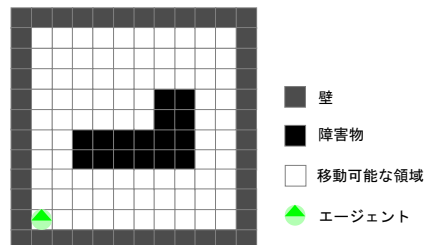


Fig.2 フィールドの様子 (出典：自作)

### ● 評価

評価は移動可能な領域に対する通り残した領域の割合によって求めるものとする。したがって、評価値  $E$  は、式 (3) に示す目的関数によって求める。なお、 $S$  は移動可能な領域の面積を、 $S'$  はエージェントが通り残した面積をそれぞれ示す。なお、評価値  $E$  が 3% 以下になれば掃除ができたとする。

$$E = \frac{S'}{S} * 100 \quad (3)$$

### ● 行動回数 (エネルギー)

エージェントは終端記号を 1 つ実行するごとにエネルギーを 1 消費する。なお、初期エネルギーは (移動可能なマスの総数)  $\times 3$  とする。なお、掃除問題に用いた終端記号を Table 1 に、非終端記号を Table 3 に示す。

Table1 終端記号 (出典：自作)

終端記号	機能
RIGHT	45度右を向く.
LEFT	45度左を向く.
MOVE	前進する. ただし、最大移動距離はエージェントの直径とし、前方に障害物があれば、その場で停止するものとする.

Table2 非終端記号 (出典：自作)

終端記号	機能
if obstacle ahead	子ノードを2つ持つ. 前方に障害物があれば 第1子ノードを、無ければ 第2子ノードを実行する.
if trail ahead	子ノードを2つ持つ. 前方が一度通過した場所であれば 第1子ノードを、無ければ 第2子ノードを実行する.
prog2	子ノードを2つ持つ. 第1子ノード, 第2子ノードの 順に実行する.
prog3	子ノードを3つ持つ. 第1子ノード, 第2子ノード, 第3子ノードの順に実行する.

## 4 数値実験

本研究では初めに、SAP を用いて掃除問題を解くことができるか確かめるために、一般的な温度スケジュールであるクーリングを用いた SAP(クーリング SAP) を掃除問題に適用した.

一方先行研究において、SAP では重要温度領域と呼ばれる探索に有効な温度を発見できれば、その温度のみを用いた探索によってプロットを生じることなく、良好な解を得られることがわかっている. そこで、掃除問題にも重要温度領域が存在するか確かめるために、温度を固定した SAP(一定温度 SAP) を掃除問題に適用した.

### 4.1 クーリング SAP の適用

本実験に用いたパラメータを Table 4 に示す. なお、Table 4 中の最高温度は最大改善を 50%は認める温度、最小温度は最小改善を 1%は認める温度である.

Table3 パラメータ (出典：自作)

パラメータ	値
total steps	320,000
cooling num	32
max temperature	144
min temperature	0.1

実験の結果として、30 試行分の最良値とノード数の平均値の履歴を Fig. 3 に示す. なお、Fig. 3 は縦軸に評価値とノード数を、横軸に探索回数をそれぞれ示す.

Fig. 3 より、評価値の履歴は探索と共に減少していることがわかる. そして最終的に得られた評価値の平均は 2.93%だった. このことから、掃除問題に SAP を適用することで、本問題を解くことができると言える.

また、Fig. 3 よりノード数の履歴は探索中盤から終盤にかけて増加していることがわかる. これは、クーリングによって温度が徐々に低くなっているためと考えられる.

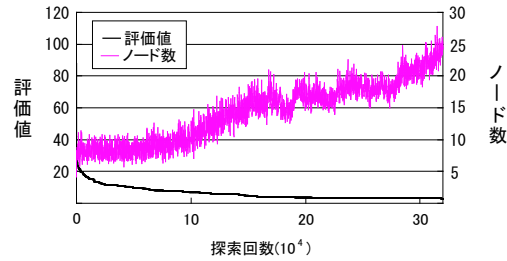


Fig.3 評価値およびノード数の履歴 (出典：自作)

### 4.2 一定温度 SAP の適用

掃除問題に重要温度領域が存在するか確かめるために、一定温度 SAP を本問題に適用した. なお、用いた温度は  $2^{-2}$  から  $2^6$  までを等比的に 8 分割した 8 温度とし、総探索回数を 20 万回とした.

実験結果として、各温度における 10 試行分の評価値とノード数の平均値を Fig. 4 に示す. なお、Fig. 4 は縦軸に評価値とノード数を、横軸に温度をそれぞれ示す.

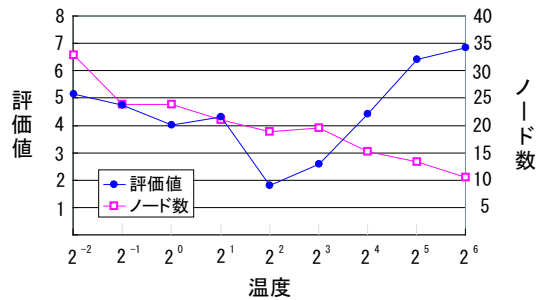


Fig.4 各温度における評価値およびノード数 (出典：自作)

Fig. 4 より、各温度によって性能は大きく異なり、 $2^2$  付近で評価値が最も良くなっていることがわかる. 従って、掃除問題における重要温度領域を確認することができた. また、ノード数に関しては、高温になるほどノード数が少なくなり、低温になるほどノード数が多くなることを確認することができた.

## 5 まとめ

本研究では、実環境を対象とした問題として、掃除問題を扱い、SAP の性能を検討した. 実験の結果、まずクーリング SAP の適用によって、定められたフィールドの掃除が出来ることがわかった. また、一定温度 SAP の適用によって、掃除問題に重要温度領域 (=  $2^2$ ) が存在することがわかった.

今後の課題としては、本実験で得られたプログラムを実機に適用し、シミュレータを用いた本実験との性能比較が挙げられる.

### 参考文献

- 1) 三木 光範, 廣安 知之, 藤田 佳久. シミュレーテッドアニーリングプログラミングを用いた自動プログラミング: 情報処理学会研究報告, Vol19, pp.89-92, 2007