

# シミュレーテッドアニーリングプログラミングにおける木構造の遷移の可視化

松井 勇樹

## 1 はじめに

ロボットなどを制御する場合、実世界において様々な状況を想定してプログラムを組まなければならない。しかし、何通りもの状況に対して人が十分に対応することは非常に困難である。そこで、様々な状況に対応できるようなプログラムをコンピュータを用いて自動設計をする研究が行われている。このような自動プログラミングでは木構造を用いてプログラムを表現するが、ノード数の増大などが問題が挙げられている。そこで本研究室では、この問題を解決するための新たな手法として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) の研究を行っている。

本発表では、SAP において解である木構造が評価値に与える影響について調べた。その上で、生成される木構造とエネルギー値の探索履歴を可視化するシステムを作成した。これにより、視覚的に温度パラメータが解構造に与える影響を把握することが出来る。このシステムによって、温度パラメータが与える木構造の変化を確かめる。

## 2 シミュレーテッドアニーリングプログラミング

シミュレーテッドアニーリングプログラミング (SAP) は、金属の焼き鈍しを模倣したメタヒューリスティック手法の一つである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プログラム探索手法である。

SAP のアルゴリズムは以下の通りである。

- STEP 1 初期設定
 

初期解であるツリーをランダムに生成し、その評価値  $E$  の計測をする。
- STEP 2 生成処理
 

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。削除された部分木の代わりに、新たにランダムに生成した部分木を挿入することで新しい解候補のツリーを作成する。

Fig. 1 に生成処理のアルゴリズムを示す。
- STEP 3 受理判定, 状態遷移
 

現在の解の評価値  $E$  と新しい解候補の評価値  $E'$  との差分  $\Delta E (= E' - E)$ 、及び温度パラメータ  $T_k$  を基に、次状態を受理するか否かの受理判定を行う。

受理判定には式 (1) に示す Metropolis 基準を用いる。

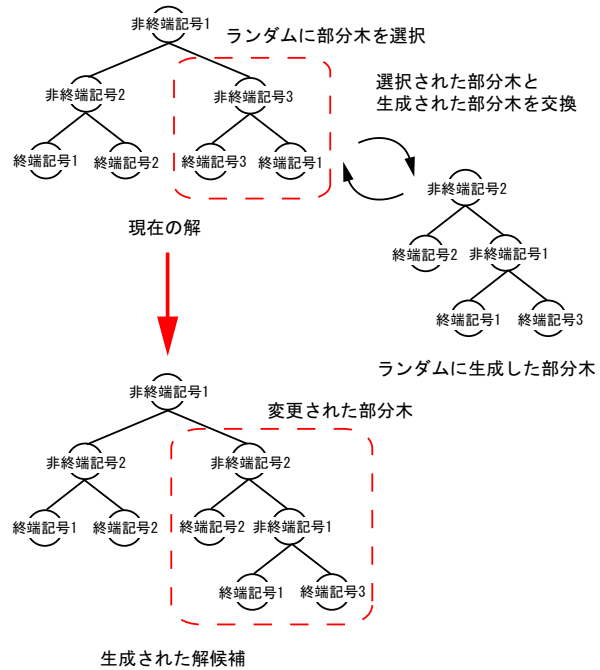


Fig.1 生成処理 (出典: 自作)

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

式 (1) より、新しい解候補が改良方向へ生成された場合は無条件で受理され、改悪方向へ生成された場合でも確率的に受理される。

- STEP 4 冷却 (クーリング)
 

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 (クーリング) を行う。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。

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

ここで、 $\gamma$  は冷却率であり、 $T_k$  は現在の温度である。冷却を行うことにより、改悪方向への遷移確率が低くなる。

- STEP 5 終了判定
 

温度が十分下がり、終了条件に達すればそのときの解であるツリーを最適状態、評価値  $E$  を最適値として出力する。

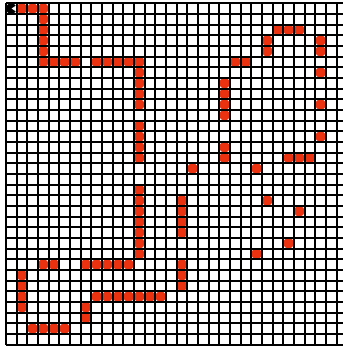
ここでの終了条件は STEP2~4 を定められた回数行えば、探索を終了するものとする。

### 3 プログラムの自動設計

#### 3.1 対象問題

本発表では、自動プログラミングの代表的なベンチマーク問題である Santa Fe trail 問題を対象とする。

Santa Fe trail 問題とは一体の人工蟻が Santa Fe trail と呼ばれる Fig. 2 に配置された餌を、限られたエネルギー内で出来るだけ多く獲得することを目的とする問題である。



● 餌 ● 人工蟻

Fig.2 santafetrail 問題 (出典:<sup>2)</sup> 引用)

人工蟻は餌上を通ることにより餌を獲得することができ、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。評価関数  $E_{val}$  は、餌の総数である  $F_{max}$  から人工蟻が獲得した餌の数  $F$  を引いたものであり、 $E_{val}(=0)$  を最適解とする最小化問題である。

この問題に用いる終端記号を Table 1 に、非終端記号を Table 2 に示す。

非終端記号	機能
if_food_ahead	子ノードを2つ持つ。 1マス前方に餌があれば第1子ノードを、無ければ第2子ノードを実行する。
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。

終端記号	機能
Left	90度左を向く
Right	90度右を向く
Move	1マス前進する

#### 3.2 探索過程の可視化

解である木構造が評価値に与える影響を確かめるために、現在の解である木構造を可視化するツールを作成した。このシステムを用いることで、評価値と解構造の関

係や探索における解構造の遷移を視覚的に捉えることが出来る。

このツールでは、右側にある探索における評価の履歴を表示し、左側にはそのときの解構造の可視化を行う。

このツールの実行画面を Fig. 3 に示す。

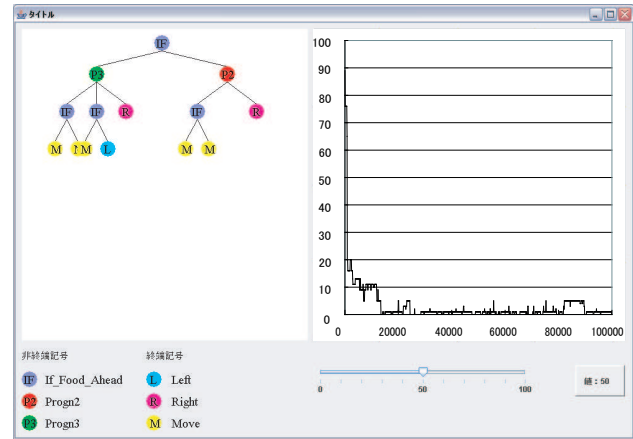


Fig.3 実行画面 (出典: 自作)

ここで温度パラメータが  $10^2$  のときと、 $10^{-1}$  のときの木構造を Fig. 4 に示す。

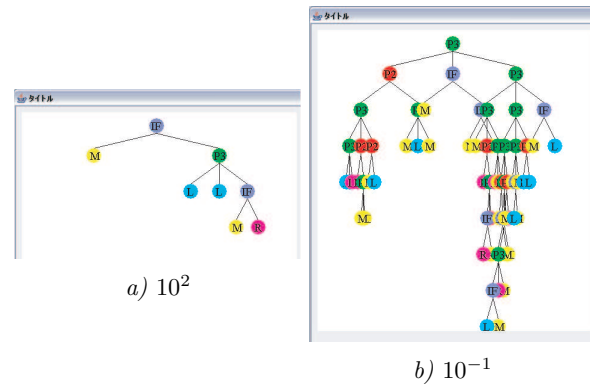


Fig.4 各温度パラメータの木構造 (出典: 自作)

Fig. 4 より、温度パラメータが  $10^2$  とき、表示された木構造のノード数が少ない。一方、温度パラメータが  $10^{-1}$  ときは表示された木構造のノード数が多いことがわかる。

### 4 まとめ

本発表では解である木構造が評価値に与える影響を確かめるために、評価値の遷移グラフと解の木構造を可視化するツールを作成した。

また、このツールを用いて、ある探索回数での評価値と解である木構造の遷移を確かめた。

### 参考文献

- 1) 三木光範 廣安知之: 知的システム工学
- 2) 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ムによる群知能の発見: 情報処理学会論文誌, Vol.67, No.2, pp.299-300, 2005