

## シミュレーテッドアニーリングによる 自動プログラミングにおける自動温度調節

三木 光範<sup>†</sup> 廣安 知之<sup>†</sup> 柴田 優<sup>††</sup>

<sup>†</sup>同志社大学工学部 <sup>††</sup>同志社大学工学部学生

### 1 はじめに

ロボットの行動規則や電子回路などを木構造を用いて自動生成する手法として遺伝的プログラミング (GP) がある [1]. GP は様々な分野に応用され有力な手法であるが, 探索の過程で木構造のサイズが増大するブロートが問題となる. これに対して著者らは, ブロートの発生原因である交叉を用いない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) を提案した [2]. SAP は, シミュレーテッドアニーリング (SA) を木構造が扱えるようにした手法であり, ブロートが発生せず, GP と同等の性能であることが明らかになっている.

SAP で探索を行うためには, 温度スケジューリングが重要となる. SAP では, 探索に有効な一定温度を用いて探索を行うが, その温度の決定にはかなりの予備的計算が必要である. また, 得られたデータをまとめ, 探索に有効な温度であるかを判断するという手間がかかる. そこで, 本研究では, 受理率を用いて, 探索に有効な一定温度を自動調節するメカニズムを持つ SAP の提案を行う.

### 2 探索に有効な温度

探索に有効な一定温度 (以下, 有効温度) の存在を確認するために, Santa Fe trail[1] を対象問題とし, 一定温度の SAP の探索を行う. アニーリングステップ数は 20 万とし, 試行回数は 50 回とした. 結果を図 1 に示す. 横軸は一定温度, 左軸は探索成功率, 右軸はノード数である.

図 1 より, 温度 4 付近で良好な探索が行われていることがわかり, 有効温度が存在することが確認できる.

なお, クーリングを用いた温度スケジュールで探索を行った場合, 探索に有効でない温度での解探索期間があり, 有効温度での一定温度探索よりも解探索性能が劣る. また, 最終的に低温になりノード数が増大

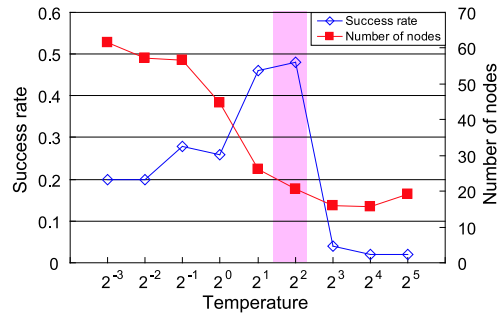


図 1: 温度と解探索性能

する.

有効温度の特定を自動化する方法を次に述べる.

### 3 受理率を用いた自動温度調節

#### 3.1 受理率と温度

クーリングを用いた温度スケジュールにより解探索を行い, 受理率の履歴がどのようになるか実験をした. 図 2 に, クーリングを用いた温度スケジュールでの 1 試行の受理率の変化を示す. 横軸にアニーリングステップ, 左軸に受理率, 右軸に温度を示す.

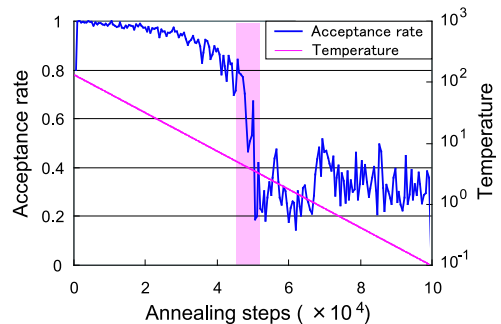


図 2: クーリングを行った際の受理率と温度

図 2 より, 温度が高い間, 受理率は 1.0 付近に停滞し, 有効温度の付近で急速に低下し 0.3 付近に収束している. つまり, 有効温度の付近で最も受理率の変化が大きくなっている. したがって, クーリングを用いる温度スケジュールにより得られる受理率の変化により, 有効温度の特定が可能であると考えられる.

#### 3.2 提案アルゴリズム

受理率の変化から有効温度を自動的に特定する手法を提案する. 提案手法のアルゴリズムは大きく 2 段階の構成となっている. 第 1 段階では概略の有効温度領域の特定を行い, 第 2 段階では詳細に有効温度の特定

Adjustment of the Temperature in Automatic Programming by Simulated Annealing

<sup>†</sup> Mitsunori MIKI(mmiki@mail.doshisha.ac.jp)

<sup>†</sup> Tomoyuki HIROYASU(tomo@is.doshisha.ac.jp)

<sup>††</sup> Masaru SHIBATA(mshibata@mikilab.doshisha.ac.jp)

Department of Knowledge Engineering and Computer Science, Doshisha University (<sup>†</sup>)

Undergraduate Student, Doshisha University (<sup>††</sup>)

1-3 Miyakodani, Tatara, Kyotanabe, Kyoto 610-0321, Japan

を行う。処理のアルゴリズムのフローチャートを図 3 に示す。有効温度の特定には、この処理を第 1 段階と第 2 段階の 2 回行う。

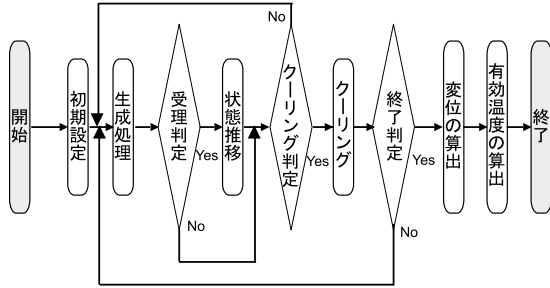


図 3: SAP 自動温度調節のアルゴリズム

第 1 段階では、最高温度から最低温度までのクーリングを行う温度スケジュールで探索を行い、得られた受理率の履歴から有効温度を算出する。

第 2 段階では、図 4 に示すように第 1 段階から得られた有効温度を中心として、最高温度から最低温度までの 10 分の 1 の温度の範囲、すなわち、図 4 での  $\alpha$  を最高温度、 $\beta$  を最低温度として解探索を行う。

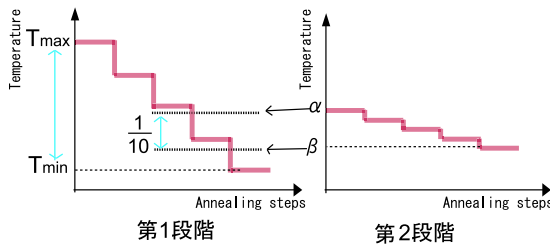


図 4: 第 1 段階と 2 段階温度スケジュール

第 2 段階では、最高温度から最低温度の範囲が狭く、受理率の履歴は試行ごとにばらつきがあるため、複数試行実行し、得られた複数の有効温度の中央値を最終的な有効温度とする。第 1 段階では、最高温度から最低温度の範囲が広いので、試行ごとのばらつきが少ないので、複数試行実行する必要はない。

#### 生成処理、受理判定、状態推移：

生成処理は、新しい解候補である次状態を生成し、その評価を行うことである。次状態は、現状態からランダムに 1 つのノードを選択し、選択されたノードを根とする部分木を削除し、その場所にランダムに生成した部分木を挿入することで生成する。受理判定は、次状態の遷移を受理するかどうかを判定することであり、(1) に示す Metropolis 基準を用いて判定を行う。この生成処理、受理判定、状態推移の一連の処理をアニーリングと呼ぶ。

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

#### クーリング：

一定期間アニーリングを行った後、(2) に従いクーリングを行う。ここで、 $\gamma$  はクーリング率である。

$$T_{next} = \gamma T_{current} \quad (2)$$

#### 受理率の変化：

受理率の履歴から 100 アニーリングステップごとの変化を求める。求めたいステップの前後 10 個のデータを合わせた計 21 個の値から、最小 2 乗法により近似直線から受理率の変化を算出する。

#### 有効温度の特定：

受理率の変化が最も大きいときの温度を有効温度とする。

## 4 数値実験

### 4.1 実験方法

対象問題を Santa Fe trail とマルチエージェントによるエサ集め問題 [2]、6 ビットマルチプレクサ問題 [1] に適用し、提案手法の有効温度の探索性能を評価した。実験では、最高温度は最大の改悪を 50% 受理する温度とし、最低温度は 1 クーリング周期の間に最小の改悪を 1 回受理する温度とした。また、第 1 段階、第 2 段階ともにアニーリングステップを 1 万、クーリングステップを 100 とし、第 2 段階の試行回数を 10 回とした。

### 4.2 実験結果

提案アルゴリズムを用いて有効温度の特定を行った結果を表 1 に示す。表 1 での有効温度領域は、図 1 で示すような予備実験により求めたものである。

表 1: 特定した温度と有効温度領域

問題	特定した温度	有効温度領域
Santa Fe trail	4.1	3.0~5.5
マルチエージェントによるエサ集め問題	3.6	3.5~5.0
6 ビットマルチプレクサ問題	1.2	0.0~1.5

表 1 から、提案手法により特定した温度は、有効温度領域内の温度であるとわかる。よって、受理率を用いて有効温度を特定する提案手法は有効であり、これを用いることで有効温度の決定に必要であった予備的な計算量を大きく削減することができる。また、自動的に有効温度が特定できるため、有効温度の決定に要する手間もなくなる。

#### 参考文献

- [1] John R. Koza, Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection, 1992.
- [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ミングによる群知能の発現. 情報処理学会全国大会講演論文集, Vol.67th, No.2, Page299-300, 2005.