

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 次状態生成方法の検討

三木 光範[†] 廣安 知之[†] 青木 大^{††}

[†] 同志社大学工学部 ^{††} 同志社大学工学部学生

1 はじめに

近年ロボットを制御するプログラムなどを、コンピュータを用いて最適化する研究がなされている。著者らは、このようなプログラムを自動生成する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)[1] を提案している。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る。

これまで、SAP では次状態を生成する際に挿入する部分木の生成方法について検討されておらず、次に示すようにランダムに生成していた。

そこで、本研究では部分木の生成方法を検討することにより、SAP の探索性能の向上を図る。

2 シミュレーテッドアニーリングプログラミング (SAP)

SAP では、現在の木構造に対してランダムに一部分を変更することで次状態を生成する。そして、次状態へ遷移するかどうかは後述する Metropolis 基準を用いて判定する。このメカニズムにより、SAP では局所解を持つ問題でも最適解を得ることが期待できる。

SAP のアルゴリズムを以下に示す。

STEP 1 初期解候補の生成

初期解候補をランダムに生成し、その評価を行う。

STEP 2 生成処理

現在の解候補に対して遺伝的プログラミング (Genetic Programming : GP)[2] の突然変異と同様の処理を行い新しい解候補を生成し、それを評価する。具体的には、現在の解候補に対してランダムに突然変異点を選択し、その点を根とする部分木を削除し、ランダムに生成した部分木をその部分に挿入する (図 1)。

STEP 3 受理判定、状態遷移

現在の解候補の評価値 E と新しい解候補の評価値

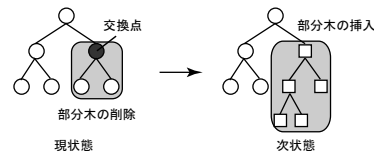


図 1: SAP における次状態の生成方法

E' との差分 $\Delta E (= E' - E)$ 、および温度パラメータ T を基に、新しい解候補に遷移するかどうかの判定 (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。

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

ここで、 P_{AC} は受理確率であり、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 クーリング

STEP2 および 3 を所定の回数繰り返したならば、温度パラメータ T を小さくする (クーリング) を行う。クーリング後の温度 T_{k+1} は、式 (2) によって決定する。

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

ここで、 γ は冷却率であり、 T_k は現在の温度である。

STEP 5 終了判定

STEP2~4 を定められた回数行えば、探索を終了する。そうでなければ STEP2~4 を繰り返す。

3 提案する部分木の生成方法

3.1 従来の部分木生成方法

これまで、次状態を生成する際に挿入する部分木は、GP の突然変異で用いられている方法 [3] と同じ方法 (最大の深さ 4, 非終端記号の選択率 0.5, 最大の深さを越えた場合は生成し直す) を用いて生成していた。よって、部分木の生成方法を検討することで探索効率の向上が期待できる。

本発表では、挿入することが探索に有効な部分木を確率的に生成する部分木生成方法を提案する。

3.2 有効部分木の確率的生成方法

SAP により得られた木構造には、多くの有効な部分木に共通して含まれる部分木がある。これらの部分木を以降、有効部分木と呼ぶ。そこで、生成処理の際に有効部分木を確率的に挿入することで探索効率の向上が期待できる。

A new method which generates a next solution in Simulated Annealing Programming

[†] Mitsunori MIKI(mmiki@mwind.doshisha.ac.jp)

[†] Tomoyuki HIROYASU(tomo@is.doshisha.ac.jp)

^{††} Dai AOKI(daoki@mikilab.doshisha.ac.jp)

Department of Knowledge Engineering and Computer Science, Doshisha University ([†])

Undergraduate Student Doshisha University (^{††})

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

しかし、多くの場合、事前にどのような部分木が有効であるかを予測することは困難である。

そこで本研究では、有効である可能性が高い部分木を自動抽出し、その部分木を次状態生成時に確率的に挿入することを考える。

この提案アルゴリズムのフローチャートを図 2 に示す。

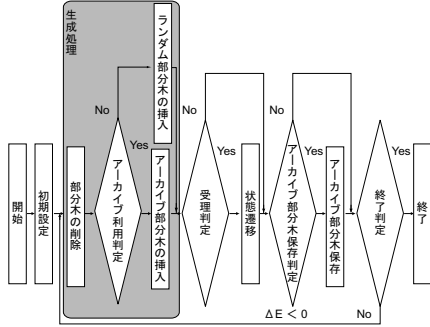


図 2: 提案アルゴリズムのフローチャート

具体的なアルゴリズムを以下に示す。

1. 生成処理において、部分木を挿入した結果、エネルギー差 ΔE が 0 より小さくなった場合に、図 3 に示すように、挿入した部分木、および挿入した部分木の親ノードを根とした部分木を有効部分木としてアーカイブに加える。
2. アーカイブサイズが上限を超える場合、上限を超える数だけアーカイブから部分木を取り除く。この際、アーカイブ中から挿入した結果、受理された割合が低い部分木から順に取り除く。

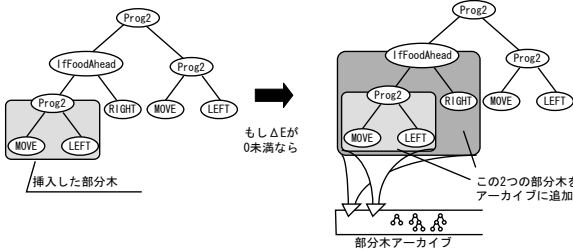


図 3: 有効部分木の抽出

4 数値実験

4.1 実験概要

提案手法の有効性を検討するために、提案手法と従来の部分木生成方法を用いる SAP とを比較する。比較する項目は、探索の成功率とする。対象問題は、次節に示す GP のベンチマーク問題である Santa Fe trail 問題とする。

用いるパラメータは一定温度 4、評価計算回数は 20 万回、試行数は 30 試行とする。提案手法ではアーカイブサイズを 10、生成した有効部分木の挿入確率を

20%とする。一定温度を用いることが解探索性能に与える影響については、良好な解を得ることが近年の研究 [1] で報告されている。

4.2 対象問題

Santa Fe trail 問題とは、フィールドに配置された餌を、限られた行動回数で、できるだけ多く獲得する一体の人工蟻のプログラムを生成することを目的とする問題である。問題に用いた終端、非終端記号を表 1 に示す。表 1 において、非終端記号は小文字で、終端記号は大文字で示している。

評価関数 E_{val} は、餌の総数である 89 から獲得した餌の数 F を引いたものであり、0 を最適値とする最小化問題である。

表 1: Santa Fe trail 問題に用いる終端・非終端記号

記号	機能
if_food_ahead	子ノード 2 つもつ。1 マス前方にえさがあれば第 1 子ノードを、なければ第 2 子ノードを実行する。
prog2	子ノード 2 つもつ。第 1 子ノード、第 2 子ノードの順に実行する。
prog3	子ノード 3 つもつ。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。
LEFT	90 度左を向く。
RIGHT	90 度右を向く。
MOVE	1 マス前進する。

4.3 実験結果

提案手法での実験結果を図 4 に示す。横軸に評価計算回数、縦軸に 30 試行中最適解を得た割合を示しており、グラフ上部ほど良い結果を意味している。

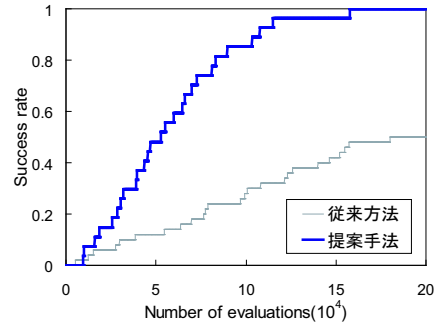


図 4: 提案手法での探索効率

図 4 より、従来の部分木生成方法と比べ、提案手法は効率良い探索が行えていることが分かる。

5 まとめ

SAP において、部分木の生成方法を検討し、探索効率の向上を図った。本報告では、有効部分木を確率的に生成および挿入する方法を提案した。

提案手法を Santa Fe trail 問題に適用し実験を行った結果、効率的な探索が行えることを確認できた。

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による群知能の発現. 第 67 回情報処理学会全国大会講演論文集 Vol2 pp. 299-300, 2005
- [2] Koza, J. R. : Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection, MIT Press, 1992
- [3] 伊庭 斉志, 遺伝的プログラミング. 東京電機大学出版局, 1996