

シミュレーテッドアニーリングプログラミングの温度並列化

三木 光範[†] 廣安 知之[†] 小畑 拓也^{††}

[†]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、コンピュータによりプログラムを自動生成する研究が行われている。そこで我々は、自動プログラミングの手法の1つである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] を研究している。SAPとは、シミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing:SA)[2] を木構造が扱えるように拡張させた手法である。この手法の重要なパラメータに温度が存在するが、その決定は容易でない。SAでは、温度並列化によってこの問題を解決した有効な手法として、温度並列 SA(Temperature Parallel Simulated Annealing:TPSA)[3] がある。TPSAは、複数のプロセッサがそれぞれ異なる一定の温度で探索を行い、ある周期ごとに解交換を行う手法である。温度並列化により、温度スケジュールの自動化だけでなく、局所解に陥りにくい探索が期待できる。本研究では、このアルゴリズムをSAPに適用し、一般的なSAPと比較することでSAPにおける温度並列化の有効性を示す。

2 シミュレーテッドアニーリングプログラミング (SAP)

2.1 SAPのアルゴリズム

SAPのアルゴリズムの詳細を、以下に示す。

1. 生成処理

生成処理の様子を図1に示す。図1のように、現在の解に対してランダムに挿入点を選択し、挿入点を根とする部分木を削除する。その部分にランダムに生成した部分木を挿入し、新しく生成した次解候補の評価値を得る。

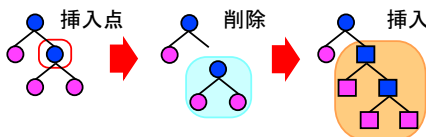


図 1: 生成処理

2. 受理判定, 状態遷移

新しく生成した解候補を受理するか判定を行う。

判定には、温度 T 、および現在の解の評価値 E と新しい解候補の評価値 E' との差分 ΔE を用いた Metropolis 基準 (式 (1)) を用いる。

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

3. クーリング

1と2を繰り返し行うことをアニーリングと呼び、ある一定期間アニーリングを行った後に、式 (2) を用いて温度を下げる。

$$T_{next} = \gamma T_{current} \quad (0.8 \leq \gamma < 1) \quad (2)$$

2.2 SAPの重要なパラメータ

温度は解の生成を制御する重要なパラメータであり、温度スケジュールの決定は容易でない。主な決定方法は、クーリングや一定温度がある。クーリングを行う場合、探索に伴い大域的探索から局所的探索まで行うため良好な解探索が期待できるが、最高温度や最低温度などのパラメータを適切に設定する必要がある。一方、探索に有効な温度領域における温度を用いた一定温度での探索は良好な解探索ができる [1] が、その温度領域の発見には多くの予備実験が必要となる。

3 温度並列 SA(TPSA)

3.1 TPSAのアルゴリズム [3]

TPSAは、温度並列化によってSAの温度スケジュールを自動化した手法である。複数のプロセッサに異なる温度を与え、各プロセッサは一定温度で探索を行う。そして、一定の間隔で隣接する温度間で解交換を行う。解交換は、式 (3) を用いて温度の差分 $\Delta T (=T'-T)$ および評価値の差分 $\Delta E (=E'-E)$ により、確率的に行う。

$$P_{\Delta T, \Delta E} = \begin{cases} 1 & \text{if } \Delta T \cdot \Delta E \leq 0 \\ \exp(-\frac{\Delta T \cdot \Delta E}{T \cdot T'}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

図2に示すように、解自身が温度を決定するため温度スケジュールが自動化される。

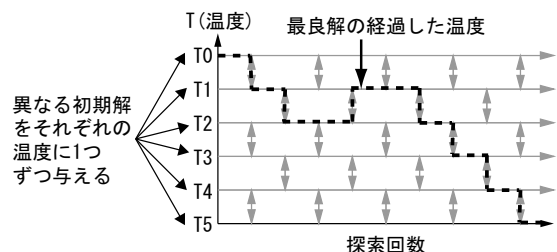


図 2: TPSAの温度スケジュール

Temperature-Parallel Simulated Annealing Programming

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

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

^{††} Takuya KOBATA(tkobata@mikilab.doshisha.ac.jp)

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

Undergraduate Student, Doshisha University (^{††})

1-3 Miyakodani, Tatara, Kyotanabe, Kyoto 610-0394, Japan

3.2 SAP への適用

3.1 節で記した TPSA のアルゴリズムを SAP に適用する．これを温度並列 SAP (TPSAP) と呼ぶ．これにより，SAP においても課題であった温度スケジュールの決定を自動化することができると考えられる．また，局所解に陥りにくい探索も期待でき，SAP の性能向上につながると考えられる．

4 対象問題

本研究では，Santa Fe trail 問題を対象とする．Santa Fe trail 問題とは，一体の人工蟻が図 3 に示す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プログラムを生成する問題である．

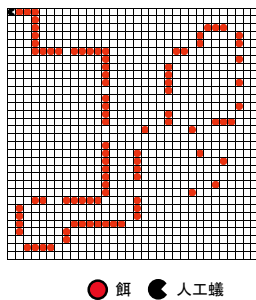


図 3: Santa Fe trail 問題のフィールド

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，終端記号は大文字，非終端記号は小文字で示す．

表 1: Santa Fe trail 問題に用いる終端・非終端記号

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．
if_food_ahead	子ノード 2 つ．1 マス前方に餌があれば第 1，なければ第 2 子ノードを実行．
prog2	子ノード 2 つ．第 1，第 2 子ノードの順に実行．
prog3	子ノード 3 つ．第 1，第 2，第 3 子ノードの順に実行．

5 数値実験

TPSAP の有効性を検討するため，比較実験を行った．なお，比較手法はクーリングを用いた SAP とした．また，TPSAP は 8 並列とし，各温度は最高温度と最低温度の間を等比分割した 8 温度とした．

5.1 実験結果

図 4 に，各手法により 30 試行探索を行った結果得られた最良値を昇順に並べたものを示す．なお図 4 は，横軸に試行回数，縦軸に評価値をそれぞれ示す．ただし，TPSAP における最良値とは，最低温度の探索において得た最も良好な解とする．

図 4 より，両手法で同数の最適解を得ている．しかし 30 試行中，TPSAP の方がより良好な解を得ることができた．

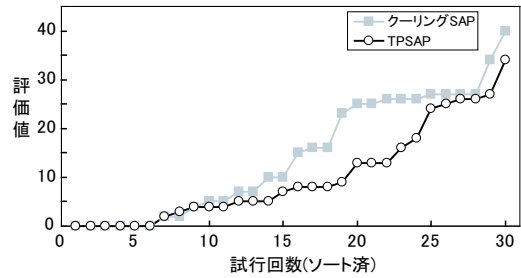


図 4: 各手法の性能比較

5.2 考察

TPSAP の 30 試行のうち最適解を得た試行における解の遷移と評価値の履歴を図 5 に示す．

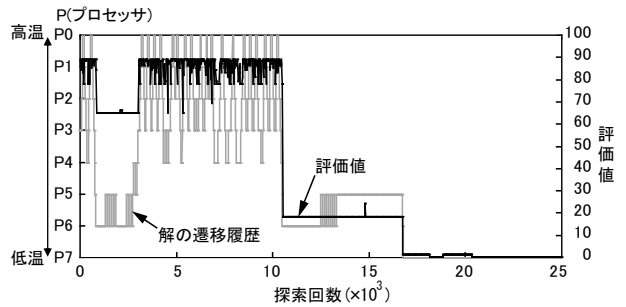


図 5: TPSAP における最適解の遷移履歴

図 5 より，まず探索序盤に注目すると，良い評価値になると低温のプロセッサに遷移している．しかし，局所解に陥った場合など評価値の更新が見られないため，確率的に高温のプロセッサへと遷移している．そして，探索中盤において改良することで局所解を抜け出していることがわかる．探索終盤では，低温のプロセッサ間を遷移することで局所的探索ができ最適解を得ている．以上より，TPSAP は，各温度のプロセッサ間で解交換を行うことで適応的な温度スケジュールを実現し，局所解に陥りにくい良好な探索を行えることを確認した．

6 まとめ

本研究では，自動プログラミングの手法の 1 つである SAP を温度並列化し，その有効性を検討した．その結果，本手法はクーリングを用いた SAP よりも高精度な結果を得た．またその要因が，温度並列化によって温度を適応的に選択することで，局所解に陥りにくい探索を実現しているためであることを確認した．以上より，本手法の有効性を示すことができたと言える．

参考文献

- [1] 藤田 佳久，三木 光範，橋本 雅文，廣安 知之．シミュレーテッドアニーリングを用いた自動プログラミング，情報処理学会論文誌，Vol48，pp.88-102，2007．
- [2] Metropolis, N., Rosenbluth, A., Rosenbluth, M., Teller, A., Teller, E. *Equation of State Calculation by Fast Computing Machines*. Journ. of Chemical Physics, 1953.
- [3] 小西 健三，瀧 和男，木村 宏一．温度並列シミュレーテッド・アニーリング法とその評価，情報処理学会論文誌，Vol.36，No.4，pp.797-807，1995．