

# 連続最適化問題における近傍並列シミュレーテッドアニーリング

三木 光範<sup>†</sup> 廣安 知之<sup>†</sup> 及川 雅隆<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

連続最適化問題にシミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing: SA) [1] を適用する場合、近傍の設定が重要となる。対象問題ごとに適切な近傍が異なるため、従来は予備実験により最適な近傍を設定するか、あるいは、あるルールとパラメータを用いて近傍を変化させる方法を用いる必要があった [2, 3]。ここでは、適応的に近傍を調節する、近傍並列 SA (Neighborhood Parallel Simulated Annealing: NPSA) を提案する。また、提案手法を代表的なテスト関数に適用し、その有効性を検証する。

## 2 連続最適化問題における最適な近傍幅

連続最適化問題に対して SA を適用する場合、SA の解探索を効率良く行なうために最適な近傍幅が存在する。連続最適化問題における標準的なテスト関数である Rastrigin 関数に対して最適な近傍幅を調べるため、種々の近傍幅に対して予備実験を行なった。探索の次状態は、各固定近傍幅を用いた一様分布によって生成される。Rastrigin 関数を式 (1) に、その概形を図 1 に示す。

$$f(x_i) = 10n + \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i)) \quad (1)$$

$$(-5.12 \leq x_i < 5.12)$$

予備実験に用いた近傍は、最大近傍を設計空間の幅、最小近傍をその  $10^{-3}$  とし、この間を指数的に 100 分割した近傍である。用いたパラメータを表 1 に示す。各近傍に対して逐次 SA を 30 試行し、その中央値の

表 1: Rastrigin 関数のためのパラメータ

最高温度	10.0
最低温度	0.01
クーリング周期	10240
総アニーリング数	10240 × 32

Neighborhood Parallel Simulated Annealing for Continuous Optimization Problems

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

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

<sup>††</sup> Masataka OIKAWA(oikawa@mikilab.doshisha.ac.jp)

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

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

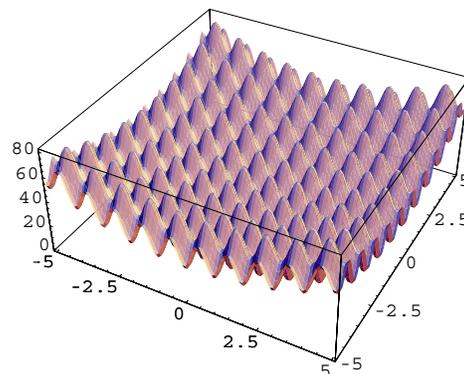


図 1: Rastrigin 関数の概形

結果を図 2 に示す。横軸が近傍幅、縦軸がエネルギー値を表し、両軸とも対数表示としている。中央値を用いた理由は、複数の局所解が存在し、しかもそれらの関数値に大きな差がある場合には、平均値は最悪値に大きく影響され、正しい評価とはならないからである。図 2 の結果より、Rastrigin 関数では近傍幅 1.0 付近が

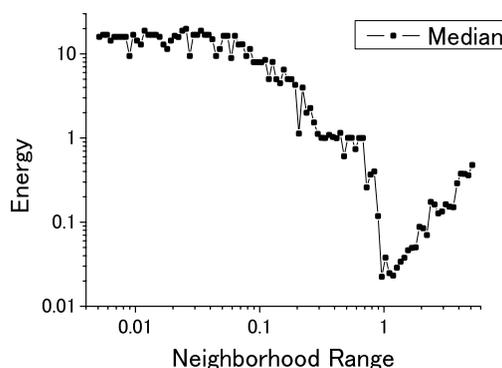


図 2: Rastrigin 関数における最適近傍

最適な近傍幅であることが分かる。この近傍幅は、図 1 の概形からも分かるように、局所解を抜け出すのに最適な近傍幅に相当する。しかし、このような最適な近傍幅は対象問題ごとに異なり、探索の総アニーリング数や対象問題の次元数によっても異なってくる。このため、最適な近傍幅の設定が不要な手法が望まれる。

## 3 近傍並列シミュレーテッドアニーリングの提案

最適な近傍の設定が不要な SA として、NPSA を提案する。提案手法は、並列プロセスに対してそれぞれ

異なる近傍を与え、近傍を並列化して SA の探索を行なう手法である。また、NPSA は周期的に全プロセスの同期をとり、各プロセスの近傍を自立的に調節するメカニズムを持つ。

NPSA の同期時には、各プロセスが持つエネルギー値に対してソートを施し、良好な解探索を行なっているプロセスから順に小さな近傍を割り当てる。こうすることにより、相対的に良好な解探索を行なっているプロセスはその解付近の局所探索をさらに進めることができる。また、局所解に陥っているプロセスは、最終的には相対的に大きな近傍が割り当てられ、大域探索によって局所解から抜け出すことが可能となる。このように、各プロセスは他のプロセスと協調し、探索に応じて適応的に近傍を調節することになる。

次に、NPSA の解探索性能を見るため、3 種類のアルゴリズムの比較実験を行なう。その 3 つとは、最適な近傍に設定した逐次 SA (SA)、並列 SA (PSA)、および、今回提案する NPSA である。対象問題は Rastrigin 関数とした。

今回の実験で用いたパラメータに関しては、次の通りである。クーリング回数は 32 とし、PSA と NPSA の並列プロセス数も同じく 32 とした。一方、NPSA における各プロセスの近傍は最大近傍を設計空間の幅、最小近傍をその  $10^{-3}$  とし、その間の近傍は指数的に割り振った。また、同期をとって NPSA の近傍調節を行なう周期はクーリング周期に合わせた。その他のパラメータに関しては、表 1 とする。ただし、表 1 のパラメータにおけるクーリング周期は逐次 SA 用のパラメータである。並列 SA に関しては 32 並列して探索を行なうため、そのクーリング周期を  $1/32$  倍することにより総アニーリング数を逐次 SA と同じにした。

#### 4 実験結果

3 つのアルゴリズムに対する性能比較の結果を図 3 に示す。横軸が比較手法で、縦軸が各アルゴリズムによる 30 試行の最良値、最悪値、中央値を示している。また、図 4 に NPSA の最適解を出したプロセスのエネルギー履歴を示す。

#### 5 考察

図 3 より、最適な近傍幅に設定した SA と PSA よりも、NPSA が非常に良好な結果を得ていることが分かる。NPSA は最適な近傍幅の設定が不要となるのに加え、解探索性能の大幅な向上を実現している。さらに、この手法では近傍調節の決定にルールやパラメータを用いないため、任意の問題に対して容易に適用できる。

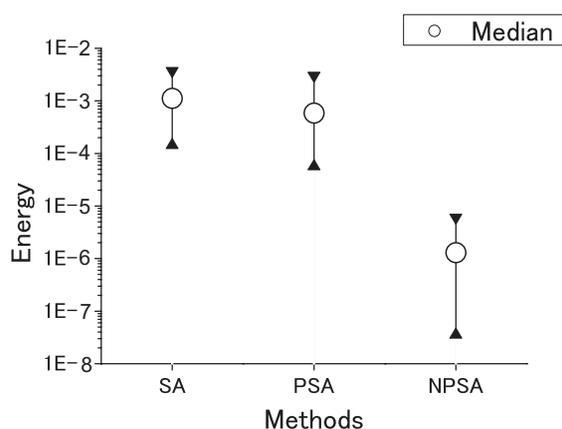


図 3: SA, PSA, NPSA の探索性能の比較

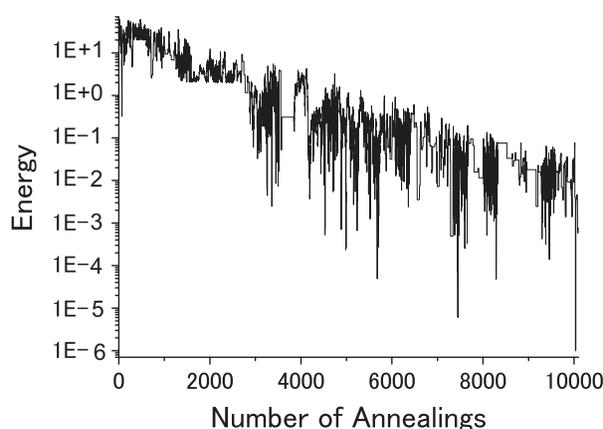


図 4: NPSA のエネルギー履歴

図 4 より、NPSA は解探索終盤においても探索を進め、良好な解探索を行なっていることが確認できる。

最適に設定した固定近傍を持つ SA や PSA と比べて、NPSA の性能が良いことは、最適な近傍が解の探索過程に応じて変化するためであると考えられる。すなわち、最適な近傍というものは、問題に固有だけでなく、探索の進行状態によっても変化することが分かる。

#### 参考文献

- [1] Kirkpatrick, S., Gelatt Jr. C. D., and Vecchi, M. P., "Optimization by simulated annealing", Science, Vol. 220, No.4598, pp. 671-680 (1983).
- [2] Corana, A., Marchesi, M., Martini, C. and Ridella, S., "Minimizing Multimodal Functions of Continuous Variables with the Simulated Annealing Algorithm", ACM Trans. on Mathematical Software, Vol. 13, No. 3, pp. 262-280 (1987).
- [3] 三木 光範, 廣安 知之, 小野 景子, "最適な受理確立を目標とする適応的近傍を持つシミュレーテッドアニーリング", 情報処理学会誌, 印刷中 (2003).