

# 適応的探索ベクトルをもつシミュレーテッドアニーリング

日和 悟

Satoru HIWA

## 1 はじめに

連続最適化問題に SA を適用する場合、近傍設計が重要であり、対象問題の景観に応じて適切な近傍幅を設定する必要がある。そのため、適切な近傍幅調節を行う SA が提案されてきた<sup>1) 2)</sup>。

しかしながら、問題が高次元である場合には、近傍幅調節による性能向上は難しい。このような問題に対しては、次元分割 SA が有効であるとされているが<sup>3)</sup>、設計変数間に依存関係が存在する場合、次元分割 SA で解を得ることは困難である。

本研究では、最適な探索方向を適応的に決定しながら探索を行う、適応的探索ベクトルをもつ SA (Simulated Annealing with Adaptive Search Vector: SA/ASV) を提案し、設計変数間に依存関係を有する高次元の問題に対して、その有効性を検証する。

## 2 高次元の問題への SA の適用

### 2.1 近傍の設計

最適化問題に SA を適用する場合、温度パラメータの適切な設定と近傍設計が重要である。連続最適化問題における近傍は、設計変数空間で探索点が遷移することのできる範囲を決定するため、近傍幅の設定が解探索能力に大きく影響する。従って、問題に応じて最適な近傍幅を設定することで、解探索性能を向上させることが可能である。

しかし、高次元の問題においては、探索点の遷移可能な空間が広すぎるために、確率的に遷移を行う SA では最適な方向に遷移する確率が極めて低くなる。よって、高次元の連続最適化問題においては、近傍幅の設定による解探索性能の向上は困難である。

### 2.2 次元分割による解決

高次元の問題においては、設計変数の各次元で SA を行い、次元ごとに最適化を行う次元分割 SA が有効である<sup>3)</sup>。次元分割 SA は、各次元の最良解の組合せが大域的最適解となるような問題、すなわち設計変数間に依存関係がない問題に対しては、非常に高い解探索性能を示す。

その反面、設計変数間に依存関係が存在する問題に対しては、次元ごとに最適化を行っても、大域的最適解を得ることができない。すなわち、高次元かつ設計変数間

に依存関係が存在する問題に対しては、次元分割による性能向上は難しい。

## 3 適応的探索ベクトルをもつ SA

設計変数間に依存関係を有する問題における探索を考えた場合、依存関係を考慮しながら、Fig. 1 のように各探索点における最適な方向に探索をすすめる必要がある。すなわち、SA の探索方向を適応的に決定することで、有効な探索を行うことができると考えられる。そこで本研究では、探索方向の決定メカニズムを有する SA として、適応的探索ベクトルをもつ SA (SA with adaptive search vector: SA/ASV) を提案し、その有効性を検証する。

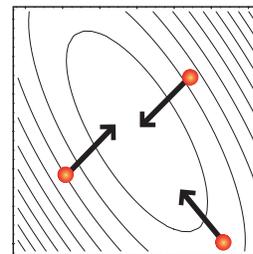


Fig. 1 Optimum search direction

### 3.1 SA/ASV のアルゴリズム

SA/ASV は、Powell 法<sup>4)</sup> にヒントを得た手法であり、全次元での 1 次元 SA の結果を元に最適な探索方向を決定し、再びその方向で SA を行う。SA/ASV による探索イメージを Fig. 2 に示す。

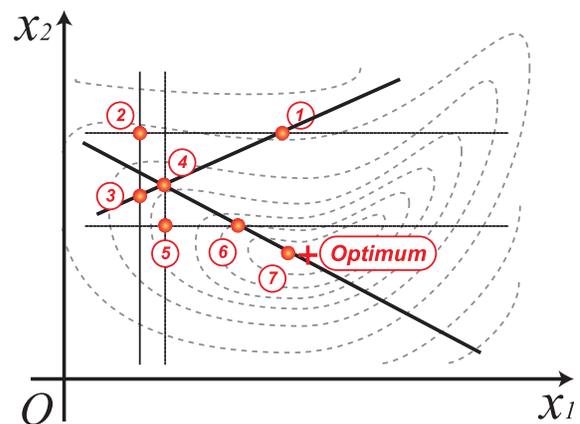


Fig. 2 Concept of search by SA/ASV

Fig. 2 のように，探索開始点と 1 次元 SA で求めた点を結ぶベクトル  $u$  を求め，探索ベクトルとする．アルゴリズムの詳細を以下に示す．

1. 初期点  $x_s = (x_{s_1}, x_{s_2}, \dots, x_{s_d})$  を生成
  2.  $x_i$  方向で 1 次元 SA を  $K$  回行う．
  3. 2 の探索における最良点に遷移
  4. 全次元について 2,3 を行う
  5. 初期点  $x_s$  から全次元の探索終了時の点  $x_e$  を結ぶベクトル  $u$  を求める
  6. ベクトル  $u$  が生成できれば  $u$  上で  $K$  回 SA を行い，生成できない場合は通常の SA を  $K$  回行う
  7. 6 の探索における最良点に遷移し， $x_s$  とする
  8. クーリング
  9. 2~8 を終了条件が満たされるまで繰り返す
- ベクトル  $u$  上での探索は，式 (1) に基づいて行う．

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + t \cdot u \quad (1)$$

$t$  は  $[-D, D]$  の範囲の乱数である ( $D$  は近傍幅)．また 6 では， $u$  のノルムが  $10^{-2}$  以下の場合にはベクトルが生成できていないとみなし，通常の SA を行うものとした．

#### 4 数値実験

提案手法 (SA/ASV) の有効性を検証するため，数値実験を行う．対象問題は設計変数間に強い依存関係を有する Rotated Rastrigin 関数である．Rotated Rastrigin 関数は式 (2) で表される Rastrigin 関数を  $15^\circ$  回転したものである．次元数は 5, 10 とした．また，比較手法には通常の SA (Simple SA) と次元分割 SA を用いた．

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

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

$$\min(F_{\text{Rastrigin}}(x)) = F(0, 0, \dots, 0) = 0$$

各手法で 30 試行を行った結果を Fig. 3, Fig. 4 に示す．横軸は試行数である．また，最適解領域 (エネルギー値が 1.0 以下) に到達した回数を Table 1 に示す．

Table 1 Number of solutions that reached the optimum solution area

Algorithms	5D	10D
Simple SA	0	0
次元分割 SA	1	2
提案手法 (SA/ASV)	26	19

Fig. 3 ならびに Fig. 4 より，提案手法 SA/ASV は，従来の手法に比べて良好な結果を示していることがわかる．また，Table 1 より，最適解領域への到達回数においても提案手法が従来の手法より良好な結果を得ている．

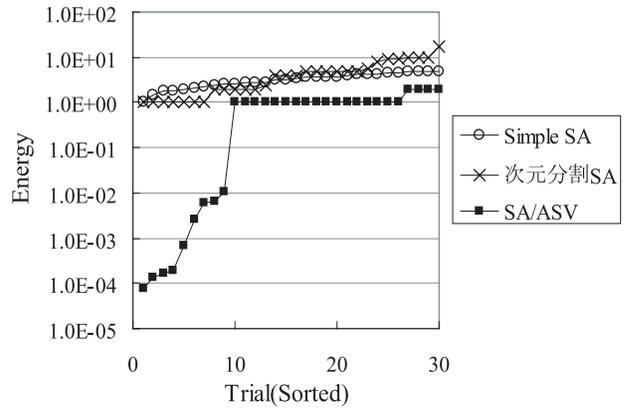


Fig. 3 Distribution of optimum solutions(5D)

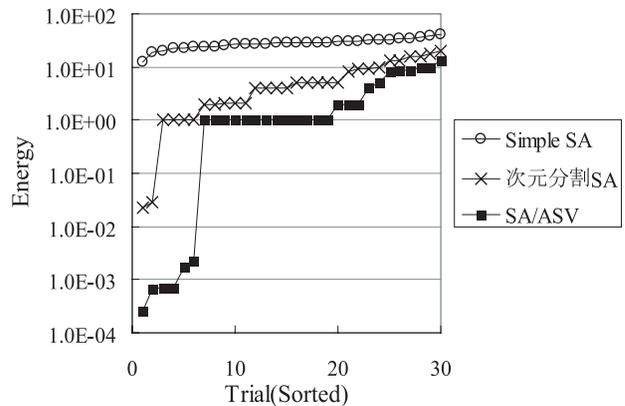


Fig. 4 Distribution of optimum solutions(10D)

#### 5 まとめ

本研究では，適応的な探索方向を決定しながら探索を行う，適応的探索ベクトルをもつ SA (SA/ASV) を提案した．提案手法を高次元かつ設計変数間に依存関係を有する Rotated Rastrigin 関数に適用した結果，従来の手法に比べ良好な結果を示し，提案手法の有効性が確認された．

#### 参考文献

- 1) 三木光範, 廣安知之, 小野景子. 最適な受理確率を目標とする適応的の近傍を持つシミュレーテッドアニーリング. 情報処理学会論文誌, Vol. 44, No. 1, pp. 1–6, 2003.
- 2) 三木光範, 廣安知之, 宮崎真. 2 分木を用いた近傍幅調節機能を持つシミュレーテッドアニーリング. 情報処理学会第 67 回全国大会講演論文集, Vol. 1, pp. 259–260, 2005.
- 3) 廣安知之, 三木光範, 小椋真貴, 岡本祐幸. 遺伝的交叉を用いた並列シミュレーテッドアニーリングの検討. 情報処理学会論文誌: 数理モデル化と応用, Vol. 43, No. SIG7(TOM6), pp. 70–79, 2002.
- 4) M.J.D. Powell. An efficient method for finding the minimum of a function of several variables without calculating derivatives. *Computer Journal*, Vol. 7, pp. 155–162, 1964.