

シミュレーテッドアニーリングの矩形パッキング問題における 良好な温度パラメータの検討

Consideration of Appropriate Temperature for SA in Rectangle-Packing

三木 光範*1 廣安 知之*1 村上 耕平*2
Mitsunori MIKI Tomo HIROYASU Kouhei MURAKAMI

*1同志社大学工学部

Department of Engineering, Doshisha University

*2同志社大学工学部(学)

Department of Engineering, Doshisha University

In recent years, rectangle-packing problems like those applied to VLSI layout attract much attention. Simulated annealing(SA) has been often applied to these problems. However, not enough research has been conducted on the temperature schedule that is effective in these rectangle packing problems. Therefore we conducted our research on the appropriate temperature scheduling in these problems. Experimental results show that SA with fixed temperature is not effective in these problems, and SA with optimally tuned maximum and minimum temperatures is the most effective.

1. はじめに

シミュレーテッドアニーリング(SA)は、高温で加熱した金属の温度を徐々に冷やすことによって、元の金属より欠陥の少ない優れた結晶構造を作る物理プロセス(焼きなまし)を計算機上で模倣した汎用最適化手法である[Metropolis 53]。SAは局所解に陥らずに大域的な最適解を発見出来る特徴がある。しかし、そのためには適切な温度パラメータの決定が容易でないという問題点を有する。このため、先行研究で有効な温度が報告されていない問題に対しては、探索に有効な温度領域を検討する必要がある。

近年、矩形パッキング問題と呼ばれる組合せ最適化問題が注目を集めている。矩形パッキング問題とは二次元平面上に複数の矩形を互いに重なることなく配置する問題であり、VLSIレイアウト最適化問題を始めとして、様々な応用分野を持つ組合せ最適化問題である。しかし、探索に有効な温度領域は十分に検討されていない。そこで、本研究では代表的な矩形パッキング問題の一つである ami49 に SA を適用させる際の、探索に有効に働く温度領域の検討を行った。

2. SAにおける重要温度

SAにより組合せ最適化問題を解く上で、温度の値が解探索能力に大きく影響する。温度は高い温度から緩慢に冷却する方法が一般的である。しかし、この方法で最適な温度スケジュールを得るためには、多くの予備実験によるパラメータチューニングが必要となる。近年の研究より、最高温度、最低温度、および冷却率のチューニングを行わず、特定の温度のみのアニーリングで良好な解が得られることが報告されている。本研究ではこの温度範囲のことを重要温度領域とよぶ。

3. 矩形パッキング問題

3.1 矩形パッキング問題におけるデータ構造表現

矩形パッキング問題において最も重要な問題の一つは解の表現方法、すなわちデータの構造表現である。

データの構造表現に関して、従来より様々な方法が提案されてきたが [Shirai 99, Murata 96, Nakatake 96], LSI のフ

連絡先: 村上耕平, 同志社大学工学部,

京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6924

ロアプランニングの分野において開発されたシーケンスペア(Sequence-Pair) [Murata 96], BSG [Nakatake 96] などの登場により有限な解空間において最適なパッキングを求めることが可能となった。

本研究では、BSG に比べより効率的な解探索を実現することのできるシーケンスペアを採用した。

3.2 シーケンスペア

シーケンスペアは、配置の対象となる矩形名から構成される2つの順列 (Γ_-, Γ_+) の並びにもとづいて矩形配置を表現する方法である。シーケンスペアでは、 (Γ_-, Γ_+) の順列に基づいて、任意の2つの矩形の相対的な位置関係が指定される。図1にシーケンスペアの概念図を示す。

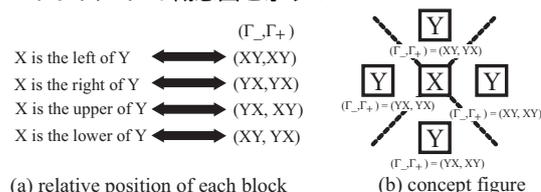


図 1: シーケンスペアの概念図

図1(a)は、任意の2つの矩形 X, Y の (Γ_-, Γ_+) に関する順列とそれに対応する矩形 X, Y の位置関係を表している。つまり、矩形順列 $(\Gamma_-, \Gamma_+) = (XY, XY)$ は、 Γ_- および Γ_+ に関して X が Y よりも先に並んでおり、このような順序関係の場合には X は Y の左にあることを意味している。基本的に、 Γ_- 軸が矩形間の上下関係、 Γ_+ 軸が矩形間の左右関係を表している。すなわち、 Γ_- は下から上への配置、 Γ_+ は左から右への配置を決定している。図1(b)は同図(a)を視覚的に示している。

4. 数値実験

4.1 実験目的

本実験では、矩形パッキング問題における良好な温度パラメータの検証を行うことを目的とする。はじめに重要温度領域の有無を検討し、その後、温度スケジューリングを用いた SA において良好な探索を行う温度領域の検討を行う。それにより矩形パッキング問題に SA を適用する場合の有効な温度パラメータについての検討を行う。

4.2 重要温度領域の検討

複数の温度パラメータを設定して、一定温度探索の SA を適用した。これにより特定の温度領域で良好な探索を行う温度の検討を行う。表 1 に使用したパラメータを示す。

表 1: 一定温度探索 SA のパラメータ

Trials	20
Annealing steps	1.0×10^6
Temperature	$0.0 \sim 1.0 \times 10^6$

結果を図 2 に示す。一定温度 SA を各温度について 20 試行探索を行ったうちの中央値をプロットした。

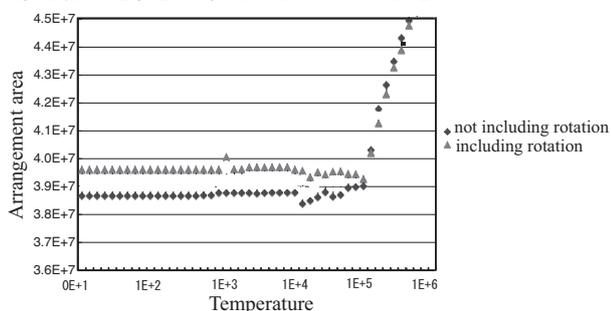


図 2: 一定温度探索 SA の探索結果

図 2 より、ami49 における一定温度探索 SA では温度が 0 から 1.0×10^6 の間で得られた矩形配置面積に大きな差がなく、ほぼ一定の値であるといえる。また、それよりも高い温度では解が収束していない。これより ami49 は一定温度 SA の探索が有効ではないと考えられる。この原因について、一定温度 SA の探索が有効に働く組合せ最適化問題である巡回セールスマン問題 (TSP) の (rat575) と確率的山登り法 (SHC) を適用したときの改悪量を比較する。図 3 では ami49 と rat575 の改悪量と探索履歴を示している。rat575 においては探索の序盤では改悪量が小さく、探索が進むにつれて改悪量が大きくなっていることが分かる。そこで適切な温度で一定温度探索を行えば、メトロポリス規準より序盤の探索では多くの改悪を受理し、探索が進むにつれて改悪の受理が少なくなる。このため、大域的な探索から局所的な探索が行える。しかし、ami49 の改悪の履歴をみると常に改悪量が一定である。このため一定温度 SA の探索が有効に働かなかったと考えられる。

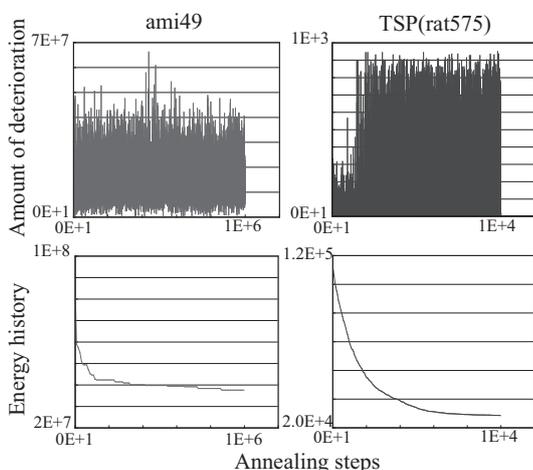


図 3: ami49 と TSP(rat575) の比較

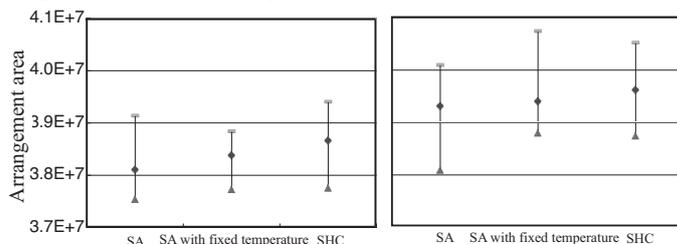
4.3 クーリングを用いた SA との比較

矩形パッキング問題において一定温度探索 SA では良好な探索が行われない。そこで、温度スケジューリングを用いた SA において、良好な探索を行う温度スケジュールの検討を行う。最大温度と最低温度のパラメータチューニングを行った SA と、SHC を用いた SA、先の重要温度の検討において最も良好な結果を残した温度での SHC による結果の比較を行う。表 2 に温度スケジューリングを用いた SA が使用したパラメータを示す。

表 2: SA のパラメータ

Trials	20
Annealing steps	1.0×10^6
Maximum temperature	1.0×10^6
Minimum temperature	1.0×10^2

比較した結果を図 4 に示す。



(a) Include the rotation the rectangles (b) Not include the rotation the rectangles

図 4: 矩形回転を行う探索結果

図 4(a)、図 4(b) どちらにおいても、温度のチューニングを行った SA の方が一定温度 SA や、SHC の結果よりも良好な結果を示した。2 つの数値実験の結果より、ami49 には一定温度探索で良好な探索を行う温度は存在しないことが分かった。また、ami49 に SA を適用するにあたり適切な温度スケジュールが必要であるといえる。

5. おわりに

今後の課題としては、他の矩形パッキング問題において良好な探索を行う温度パラメータを検討すること、また、探索に有効に働く温度スケジュールを適応的に探し出すアルゴリズムの開発が挙げられる。

参考文献

- [Metropolis 53] Metropolis, N., Rosenbluth, A., Rosenbluth, M., Teller, E. Equation of state calculation by fast computing machines. Journal of Chemical Physics, Vol.21, pp. 1087-1092, 1953
- [Murata 96] H.Murata and K.Fujiyoshi and S.Nakatake and Y.Kajitani: VLSI Module Placement Based on Rectangle Packing by the Sequence-Pair IEEE Trans. on CAD vol.15. num.12. pp.1518-1524. 1996
- [Shirai 99] Y. Shirai and N. Matsumoto: Performance Evaluation of ES Type Genetic Algorithms for Solving Block Layout Problems with Floor Constraints PTransaction of JSME (C)65-634 pp.296-304. 1999
- [Nakatake 96] S. Nakatake and H. Murata and K. Fujiyoshi and Y. Kajitani: Module Placement on BSG-Structure and IC Layout Applications Proc. of International Conference on Computer Aided Design '96 pp.484-491. 1996