

## 適応的近傍型シミュレーテッドアニーリングの 実最適化問題における有効性

三木 光範<sup>†</sup> 廣安 知之<sup>†</sup> 上田 祐一郎<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

シミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing:SA) は、高温の金属を徐々に冷却することで安定度の高い結晶を得る物理プロセスである焼きなましを計算機上で模倣した進化的最適化手法である。[1]

複雑な最適化問題を進化的最適化手法で解く場合はパラメータの設定が難しく、特に連続最適化問題に SA を適用する場合は近傍の設計が容易でない。一方、最適な受率率を目標とする適応的近傍を持つ SA(Simulated Annealing with Advanced Adaptive Neighborhood:SA/AAN)[2] は近傍を探索に応じて自動調節できることから、特に実最適化問題のような複雑な最適化問題に有効であると考えられている。しかし、SA/AAN の有効性はテスト関数で検証されているが、実最適化問題での検証はされていない。

本研究では、光通信用利得等化フィルタ設計問題に SA/AAN を適用し、一般的な SA と比較して短時間で高い精度の解が得られることについて示す。

### 2 SA/AAN

#### 2.1 アルゴリズム

SA/AAN は最適な受率率を目標とすることによって近傍を自動的に調節するメカニズムを有する手法である。受率率とは、ある一定間隔で生成した次状態のうち受理した割合を表したものである。

探索終盤で近傍が大きすぎる場合は無駄な探索が多くなり受率率は小さくなる。逆に探索序盤で近傍が小さすぎる場合はエネルギー値の差が微小になり受率率が大きくなる。一方、局所解に陥った場合は解の更新が少なくなり受率率は小さくなる。従って、探索状況に応じて受率率が変化することに基づいて近傍を調節することで、問題に適応した近傍を得ることができる。

このように、SA/AAN は指定した受率率を保つように近傍を調節しながら探索することで、近傍設計を自動化している。

#### 2.2 近傍調節メカニズム

SA/AAN では、以下の 3 段階によって探索中の受率率が指定した値を保つように近傍を調節している。

##### 1. Corana の手法 [2] を用いた近傍調節

Corana の手法は、探索中の受率率が 0.5 になるように近傍を調節する手法であり、探索の序盤で行う。これは、探索の序盤から低い受率率にしようとしても、温度が高いために近傍を設計変数空間全体に広げても、探索中の受率率が指定した受率率まで下がらないためである。

##### 2. 固定近傍による探索

探索序盤で用いた Corana の手法によって探索中の受率率が 0.5 になれば、その後指定した受率率に下がるまで近傍を固定して探索を行う。

##### 3. 指定した受率率を保つ近傍調節

探索中の受率率が指定した値まで下がった後は、指定した受率率を保つように近傍を調節する。このとき、近傍を拡大する拡大率を再帰的に定義することにより、探索中の受率率が下がりにくいときには拡大率が充分大きな値になり、小さな受率率を実現しやすくしている。

### 3 光通信用利得等化フィルタ

光通信は広域ネットワークでの大容量かつ高速な情報通信のために用いられている。特に、複数の波長の光を 1 本の光ファイバに通して通信を行う狭帯域波長分割多重 (DWDM) 技術によって、通信容量の増大が実現されている。この光通信では伝送途中で減衰した光エネルギーを光アンプで増幅するが、この際各波長毎に増幅されるエネルギー (利得) が異なる。このばらつきを補正し平坦にするものが利得等化フィルタ (Gain Flattening Filter:GFF) である。

#### 3.1 GFF の設計

GFF は高屈折率層と低屈折率層を交互に重ね合わせた構造になっている。また、光は屈折率の異なる 2 つの物質の境界では反射と透過を起こし、このときの反射率と屈折率は各波長毎に異なるという性質を持っている。したがって、光は GFF に通すことによって、反射と透過を繰り返す。GFF の簡単な構造を図 1 に、光の透過の様子を図 2 に示す。

この性質を利用し、光アンプで増幅した際に利得の大きい波長の光は反射率の高いフィルタで減衰させ、

Simulated Annealing with Advanced Adaptive Neighborhood effectiveness verification in a real optimization problem

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

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

<sup>††</sup> Yuichiro UEDA(yueda@mikilab.doshisha.ac.jp)

Department of Knowledge Engineering and Computer Science, Doshisha University (<sup>†</sup>)

Undergraduate Student, Doshisha University (<sup>††</sup>)

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

利得の小さい波長の光は反射率の低いフィルタでできるだけ減衰させないようにGFFの各層の膜厚を調節することによって、GFFの最適設計を行う。

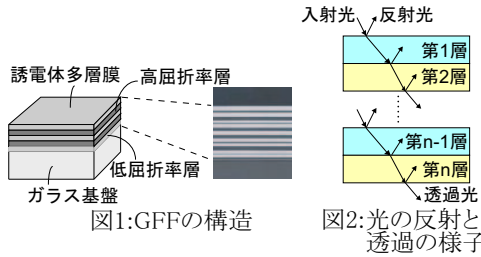


図1:GFFの構造

図2:光の反射と透過の様子

### 3.2 GFFの評価関数および設計変数

GFF設計問題を最適化問題として扱う際には、評価関数、設計変数、制約条件を定める必要がある。本研究では、設計したGFFの各波長ごとの利得と目標特性との誤差の2乗和 ( $sumE$ )、および正の最大誤差 ( $maxE$ ) と負の最大誤差 ( $minE$ ) との差 ( $maxE - minE$ ) から評価値を求める。このGFFにおける目標特性と設計した値との誤差について図3に示す。

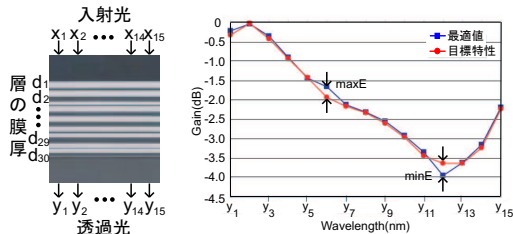


図3:GFFにおける各波長の目標特性との誤差

これらの値を用いたGFFの評価関数を式(1)に示す。なお、式(1)中の $\omega_1$ 、 $\omega_2$ は重みを示す。

$$F(\mathbf{d}) = \omega_1 \times sumE + \omega_2 \times (maxE - minE) \quad (1)$$

また、設計変数は各層の膜厚であり、次元は層の総数で、ここでは30[枚]とし、設計上の問題から設計変数の範囲を1.0~4,000.0[nm]とする。

### 4 数値実験

SA/AANの有効性を検証するために比較実験を行う。比較手法は、多次元の問題に有効とされる次元分割SAを用い、近傍を探索回数の増加と共に等比的に縮小したSA(SA/DN)と固定近傍でチューニングを行ったSA(SA/FN)を用いた。また、SA/AANも次元分割を行い、各次元ごとに近傍を与え独立して調節することとした。

#### 4.1 実験結果

上記の結果として、100試行分の最良値を評価値の昇順に並べたものを図4に示す。なお、図4は縦軸に評価値を、横軸に試行数をそれぞれ示している。図4より、SA/AANはSA/DNより良好であり、SA/FNと同等の結果であることがわかる。

#### 4.2 探索中の近傍の履歴

ここで、SA/AANの100試行のうち最良の結果における全次元の近傍の履歴を図5に示す。なお、図5は縦軸に近傍の値、横軸に探索回数を示している。

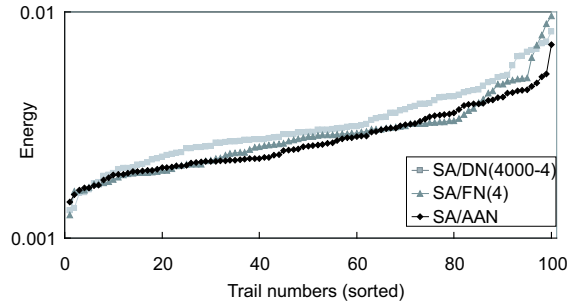


図4:各手法とSA/AANの性能比較

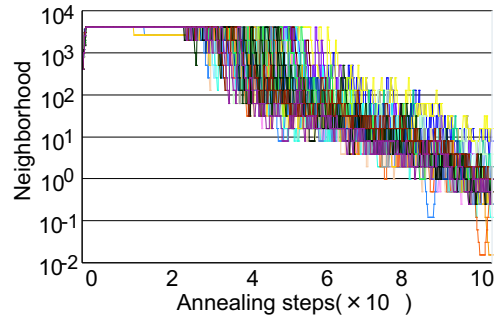


図5:近傍の履歴

図5より、探索序盤では近傍が大きくなり大域探索を、探索終盤では近傍が小さくなり局所探索を行っていることがわかる。また、探索終盤では、近傍が $10^{-1} \sim 10$ という非常に小さい値の間で調節されている。このようにSA/AANは近傍を探索状況に応じて調節することができているため、SA/DNよりも良好な解を得ることができ、十分なチューニングのコストをかけなくてもチューニングを行ったSA/FNと同等の結果を得ることができたと考えられる。以上より、SA/AANがGFF設計問題において有効であることがわかった。

### 5 まとめ

本研究では、これまでにテスト関数において有効性が検証されている手法であるSA/AANを実最適化問題のGFF設計問題に適用し、その有効性を検討した。その結果、SA/AANはチューニングなしでも、SA/DNよりも良好で、チューニングを行ったSA/FNと同等の結果を得ることができた。これにより、一般的なSAと比較して短時間で高い精度の解が得られることを確認できた。今後の課題としては、他のSAの手法と比較をし、さらなる有効性の検討を行う必要がある。

### 参考文献

- [1] 喜多一. シミュレーテッドアニーリング. 日本ファジ学会誌, Vol.9, No.6, pp.875-880, 1997.
- [2] 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, 2003.
- [3] 三木光範, 廣安知之, 市川親司, 真武信和. 実最適化問題における進化的アプローチの有効性 ~利得等化フィルタの最適設計~. 日本航空宇宙学会誌, 第52巻, 第608号, pp225-231, 2004.