

# GFF 設計問題における SA/AAN の有効性

上田 祐一郎

## 1 はじめに

近年、広域ネットワークでの大容量かつ高速な情報通信が求められ、その手段として光通信が用いられている。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大域波長分割多重 (DWDM) 技術によって、通信容量の増大は実現されている。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ために利用するのが利得等化フィルタ (Gain Flattening Filter:GFF) である。

これまでの研究で、この GFF の各層の膜厚を最適設計する GFF 設計問題にシミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing:SA) が有効であることがわかって<sup>1)</sup>。本研究では、実最適化問題の GFF 設計問題に対して、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)<sup>2)</sup> を適用し、その有効性について検討する。

## 2 GFF

### 2.1 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 Fig. 1 に、光の透過の様子を Fig. 2 に示す。

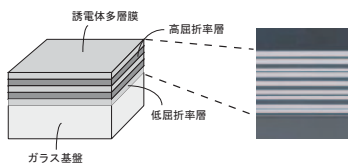


Fig.1 GFF の構造 (出典:自作)

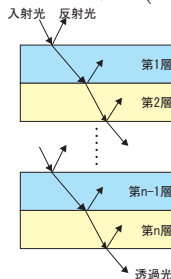


Fig.2 光の反射と透過の様子 (出典:自作)

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

### 2.2 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 Fig. 3 に示す。

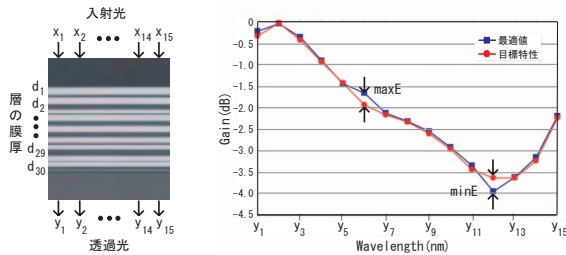


Fig.3 GFF における各波長の目標特性との誤差 (出典:自作)

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。

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

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、設計上の問題から制約条件を 1.0 ~ 4,000.0 [nm] としている。

## 3 SA/AAN

SA を適用するとき、離散最適化問題では特に温度の調節が、連続最適化問題では特に近傍の調節が重要となる。しかし、これらのパラメータは対象問題が複雑になるほど調節が容易でなくなる。

### 3.1 SA/AAN のアルゴリズム

近傍を自動的に調節するメカニズムを有する手法として、最適な受率率を目標とする適応的近傍を持つ SA(SA/AAN) がある。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るため受率率は小さくなる。逆に探索初盤で近傍を小さすぎる場合、エネルギー値の差が微小であるため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って受率率は小さくなる。このことから、探索条件に応じて受率率が変化するため、この受率率に基づいて近傍を調節することによって、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、困難な近傍設計を自動化している。これにより、無駄な探索を減らすと共に問題に適応した近傍設計が可能となるため、特に複雑とされる実最適化問題にも有効であると考えられる。

### 3.2 SA/AAN の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受率率を保つように近傍を調節している。

- Corana の手法を用いた近傍調節

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。この Corana の手法で近傍を調節する式を式 (2) に示す。

$$\begin{cases} m' = m \times g(p) \\ g(p) = 1 + c \frac{p-p_1}{p_2}, & \text{if } p > p_1 \\ g(p) = \left(1 + c \frac{p_2-p}{p_2}\right)^{-1}, & \text{if } p < p_2 \\ g(p) = 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$p_1 = 0.6, p_2 = 0.4$

- 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。

- 指定した受率率を保つ近傍調節

探索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。このときに用いる式を式 (3)、および式 (4) に示す。

$$\begin{cases} m' = m \times g(p) \\ g(p) = H_0, & \text{if } p > p_1 \\ g(p) = 0.5, & \text{if } p < p_2 \\ g(p) = 1.0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} H_0 = H_0 \times H_1, \\ (\text{初期設定: } H_0 = 2.0) \\ H_1 = 2.0, & \text{if } p' > p_1 \\ H_1 = 0.5, & \text{if } p' < p_2 \\ H_1 = 1.0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

なお、式 (4) より近傍を拡大する拡大率を再帰的に定義している。これにより、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なっている。

## 4 数値実験

実最適化問題に最適化手法を適用する場合、パラメータの設定が容易でない。特に、実問題を連続最適化問題として扱い、SA を適用して最適化を行う場合、近傍の設計が非常に難しい。しかし、SA/AAN は近傍を問題に適應して調節することができるため、実最適化問題にも有効であると考えられる。そこで、実最適化問題の GFF 設計問題を対象として数値実験により SA/AAN の有効性について検討する。

### 4.1 パラメータ

比較手法として多次元の問題に有効とされる次元分割 SA を用い、これをパラメータチューニングした結果と SA/AAN を比較した。なお、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。このとき用いたパラメータを Table 1 に示す。

### 4.2 実験結果

Fig. 4 に上記の結果として、それら 100 試行分の最良値を評価値の昇順に並べたものを示す。なお、Fig. 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。

Table1 次元分割 SA, SA/AAN のパラメータ

パラメータ	次元分割 SA	SA/AAN
最高温度	$10^{-4}$	35.0
最低温度	$10^{-5}$	$10^{-5}$
冷却率	0.8	0.8
近傍	400	400
受率率	-	0.2
近傍調節間隔	-	10
近傍拡大率調節間隔	-	40
総探索回数	100,000	100,000

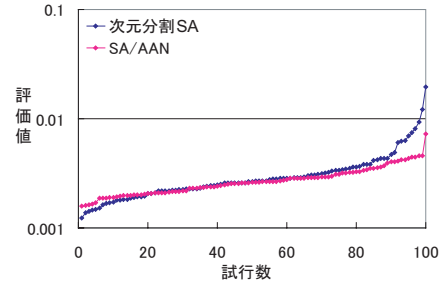


Fig.4 次元分割 SA と SA/AAN の性能比較 (出典:自作)

Fig. 4 より、SA/AAN の結果はチューニングした次元分割 SA とほぼ同等の結果を得ることができている。

### 4.3 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 Fig. 5 に示す。なお、Fig. 5 は縦軸に近傍の値、横軸に探索回数を示している。

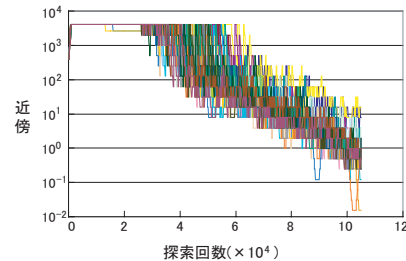


Fig.5 近傍の履歴 (出典:自作)

Fig. 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。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るため、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次元分割 SA と同等の結果を得ることができたと考えられる。

## 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 はパラメータチューニングを充分にしなくても、チューニングした次元分割 SA と同等の結果を得ることができた。これにより、チューニングコストを考慮すると GFF 設計問題において SA/AAN が有効であることを確認することができた。

今後の課題としては、SA/AAN の温度パラメータなどの検討、および他の SA の手法と比較をし、更なる有効性の検討を行う必要があると考えられる。

### 参考文献

- 1) 市川親司, 実最適化問題におけるシミュレーテッドアニーリングの有効性. 同志社大学大学院工学研究科知識工学専攻 修士論文, 2005.
- 2) 三木光範, 廣安知之, 小野景子. 最適な受率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. Vol144 No.1, 2003.