

# 遺伝的アルゴリズムによる利得等化フィルタ設計

## Gain Flattening Filter Design by Genetic Algorithm

真武 信和

Nobukazu MATAKE

**Abstract:** Optical communication has been fundamental to internet backbone network, and now it is demanded to be much faster for diffusion of ADSL, FTTH and other fast network which links the home to internet. To make optical communication faster, the gain flattening filter (GFF) have been a focus of constant attention for dense wavelength division multiplexing (DWDM) method. This paper describes Genetic Algorithm (GA) for minimizing the error of GFF.

### 1 はじめに

光通信は、高速かつ広域ネットワークとして、主に基幹系ネットワークにおいて普及している。近年では波長帯域を並列に利用する狭帯域波長分割多重 (Dense Wavelength Division Multiplexing : DWDM) などが考案されており、さらなる高速化が進んでいる。

光通信では中継器内で光アンプが用いられているが、光電変換<sup>1</sup>を行わない光アンプでは、すべての波長を等しく増幅することは物理的に不可能である。このため DWDM 方式では、光増幅を行った後に光の利得を平坦化する必要がある。この際に用いられる利得等化器の一つに誘電体多層薄膜を用いた利得等化フィルタ (Gain Flattening Filter : GFF) がある。本研究では遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) を用いて、より利得誤差の小さい GFF を設計することを目的としている。本発表では GFF の層数と膜厚の定義域について、それぞれ数値実験を行い考察する。

### 2 GFF とは

#### 2.1 GFF の設計

光は屈折率が異なる物質境界で反射と透過を起こす性質があり、この反射率と透過率は光の波長、物質の屈折率および膜厚により変化する。この様子を Fig.1 に示す。

この原理を利用して、GFF は任意の厚さの薄膜を低屈折率/高屈折率と交互に積み重ね、利得等化を行う。DWDM の波長帯域に設定された目的特性に等しくなるような多層薄膜を設計することが、GFF 設計の目的となる。

#### 2.2 GFF の評価関数

Fig.1 のような  $N$  層多層膜を考える。この中の  $i$  層目の屈折率を  $n_i$ 、膜厚を  $d_i$ 、光の入射角を  $\theta_i$  とすると、ある波長  $\lambda$  で生じる位相差  $\delta$  は Equ.(1) のようになる。

<sup>1</sup>光 電気, 電気 光の変換を行わず、直接光のまま変換すること

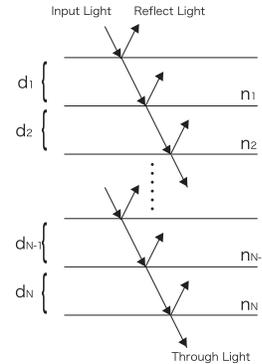


Fig. 1  $N$  層多層膜における反射と透過の様子

$$\delta = \frac{2\pi n_i d_i \cos \theta_i}{\lambda} \quad (1)$$

また、真空中のアドミッタンスで規格化したアドミッタンス  $\eta$ 、 $\eta_0$ 、 $Y$ 、 $Y_0$  を用いると、多層膜全体での波長  $\lambda$  の光の振幅反射率  $\rho$ 、振幅透過率  $\tau$  およびエネルギー反射率  $R$ 、エネルギー透過率  $T$  はそれぞれ Equ.(2) ~ (7) のようになる<sup>1)</sup>。

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \left\{ \prod_{j=1}^N \begin{bmatrix} \cos \delta & i \sin \delta / y_0 \eta_j \\ i \eta_j \sin \delta & \cos \delta \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_{sub} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$Y = \frac{C}{B} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{Y_0 - Y}{Y_0 + Y} = \frac{\eta_0 B - C}{\eta_0 B + C} \quad (4)$$

$$\tau = \frac{2\eta_0}{\eta_0 B + C} \quad (5)$$

$$R = \rho \rho^* \quad (6)$$

$$T = 1 - R \quad (7)$$

Equ.(2) ~ (7) により、設計した GFF の各波長成分ごとの利得を計算し、各波長ごとの目標特性との誤差の 2 乗和 (*sumerror*) と、正の最大誤差 (*maxerror*) から負の最大誤差 (*minerror*) を引いた値 (*maxerror - minerror*)

から評価値を求める。これを GFF の評価関数とし、Equ.(8) に示す。なお、 $w_1, w_2$  は重みを示す。

$$\begin{aligned} \text{ObjectiveFunction} &= w_1 \times \text{sumerror} \\ &+ w_2 \times (\text{maxerror} - \text{minerror}) \end{aligned} \quad (8)$$

### 3 GA による数値実験

GA による GFF の設計を行うために、GFF におけるパラメータの検討を行う。

#### 3.1 パラメータ

本実験で用いた GA のパラメータを Table 1、GFF のパラメータを Table 2 に示す。

Table 1 GA のパラメータ

Parameters	Value
Population	500
Chromosome Length	Number of Layers×12
Island	50
Elite	5
Selection	Tournament
Tournament Size	4
Crossover	Two-point Crossover
Crossover Rate	1.0
Migration Interval	5
Migration Rate	0.5
Mutation Rate	0.01
Trial	100

Table 2 GFF のパラメータ

Parameters	Value
Number of Layers	15 ~ 30
Domain	[1,1000 ~ 4000)
$w_1, w_2$	0.09, 0.01

GA のパラメータについては、本実験では Table 1 のようにしたが、これらについては今後検討が必要である。GFF 設計問題については、層数と膜厚の定義域を Table 2 のように変化させた。また  $w_1, w_2$  については、数値実験により  $\text{sumerror} : \text{maxerror} - \text{minerror} = 1 : 100$  の関係があることが分かったため、Table 2 のように固定した。

#### 3.2 実験結果

##### 3.2.1 層数を変化させた場合

目標特性のサンプル点が N 点のとき、目標特性は N 次元の曲線となる。そのため一般的な目標特性を満たす GFF を設計するためには、N 層以上が必要となる。本実験では目標特性として 15 個のサンプル点を取っているため、15 層以上必要となる。そこで、層数を 15 層から 30 層まで 1 層ずつ変化させたところ、Fig.2 に示すような結果を得た。

Fig.2 より、層数が少なくなるにつれ評価値が悪くなっていることから、層数と評価値にはトレードオフの関係があることが確認できた。安定した性能を持つ GFF を設計することを考えると、この目標特性を持つ GFF を設計するには、層数は 26 層以上必要である。

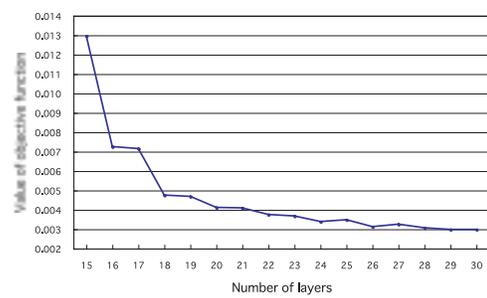


Fig. 2 層数と評価値の関係

##### 3.2.2 膜厚の定義域を変化させた場合

理論的には薄膜の光の透過特性には周期性があるため、目標特性を満たす多層薄膜を設計するためには、膜厚の定義域は [1nm, 光の 1/4 波長) であればよい。DWDM で用いられる 1550nm 帯の 1/4 波長はおよそ 380 ~ 390nm であるため、理論的には膜厚の定義域は [1,400) で十分である。しかし現実には定義域を [1,1000) 以下にすると、解が著しく劣化する。そのため本実験では膜厚の定義域の最低値を 1nm に固定し、定義域の最大値を 1000 ~ 4000nm まで 500nm 刻みで変化させた。その結果を Fig.3 に示す。

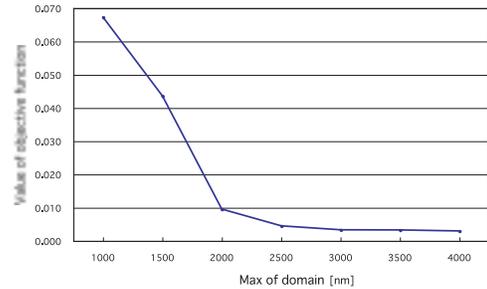


Fig. 3 膜厚の定義域と評価値の関係

Fig.3 より、膜厚の定義域にも評価値とのトレードオフの関係があることが確認できた。安定した性能を持つ GFF を設計することを考えると、定義域は [1,3000) 以上必要である。

### 4 まとめ

本実験で GFF の層数と評価値、膜厚の定義域と評価値の間にはそれぞれトレードオフの関係があることが確認できた。また性能の良い GFF を設計するためには、層数 26 層以上、膜厚の定義域 [1,3000) 以上が必要であることも確認できた。今後はより高度な設計を行うため、層数、膜厚ともに可変とし、NCGA による GFF の多目的最適化を行う。

### 参考文献

- 1) 味村 裕. 誘電体多層膜の特性とその膜設計および光学膜厚制御. 古河電気工業株式会社 ファイナルフォトニクス研究所 光部品開発部, 2002.