

遺伝的アルゴリズムを用いた回折型ビームシェーパー 設計パラメータの最適化

The Search of Optimum Design Parameters for a Diffractive Beam Shaper by using Genetic Algorithm

○天野弘章, 森村隆, 平田博之, 松島恭治

°Hiroaki Amano, Takashi Morimura, Hiroyuki Hirata, Kyoji Matushima

関西大学工学部先端情報電気工学科

Department of Electrical Engineering and Computer Science, Kansai University

E-mail: amano@laser.ee.kansai-u.ac.jp

The problem that a manufacturing error or a beam error is harmful to the output of diffractive beam shapers can be eased by selection of a set of suitable design parameter. A new technique by using genetic algorithm for searching the suitable parameters is reported.

1. はじめに

回折光学素子(Diffractive Optical Element,以下 DOE)の設計には, Direct Binary Search や Simulated Annealing, 反復フーリエ変換法(Iterative Fourier Transform Algorithm,以下 IFTA)[1]が知られているが, 回折型ビーム成形素子は非常にピクセル数が多いため, IFTA がもっとも一般的に用いられる. フーリエ型 DOE ではない場合でも, IFTA と同様の考え方で DOE を設計できる[2]. しかし, この手法で設計した DOE の出力は製造公差や入力ビーム径の誤差により著しく劣化する問題点がある. 最近の研究で, これらの問題は適切な設計パラメータの選択により緩和されることがわかっており, 設計パラメータの選択が重要となる[3]. この設計パラメータの最適化に遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm,以下 GA)を用いた結果を報告する.

2. ビーム成形素子設計と出力ビームの評価

本研究では作動距離 $d[\text{mm}]$ でビーム径 $(1/e^2)\omega_0 = 1.5[\text{mm}]$ の入射ガウスビームを一边 $5[\text{mm}]$ の均一な正方形強度分布 (20 次変数分離型スーパーガウス関数形状) に変換するための素子の位相分布を反復回折法により設計した. ビーム径変化に対する許容性を調べるために, 素子使用時にはビーム径

$$\omega = (1 + E_\omega)\omega_0$$

のビームが入射するものとし, E_ω をビーム径誤差と定義した. また設計した DOE の位相分布 $\varphi_0(x, y)$ を表面レリーフとして製作する際に一様な誤差公差 E_φ が生じると仮定し, 実際に製造された DOE の位相分布が

$$\varphi(x, y) = (1 + E_\varphi)\varphi_0(x, y)$$

となると仮定した. これら 2 つの誤差に対する DOE 出力ビームの感度に影響する主な設計パラメータとして作動距離 $d[\text{mm}]$ と信号領域 $R_{sig}[\%]$ と初期位相分布の焦点距離 $d_{ph}[\text{mm}]$ の 3 つがある[3].

ここで R_{sig} は設計目標となる出力強度分布を表す関数の定義域内に設けた領域であり, d_{ph} は信号関数の初期位相分布として与えるレンズと同様の位相関数の焦点距離のことである.

設計した DOE の出力ビームを評価する方法として出力強度分布の均一性上限 f_{max} と下限 f_{min} から均一性 $f = (f_{max} + f_{min})/2$ を定義した[3]. この値が小さいほど均一性の良い出力強度分布であり, この値は誤差 E_ω と E_φ が増加するに従って急激に増加する.

3. 誤差感度による設計パラメータの評価

ある範囲内で (E_ω, E_φ) の組を与えたときの出力強度分布の均一性 f の平均値を誤差感度 S と定義した. この値が小さいほどビーム誤差と位相誤差に対する感度が弱い DOE といえる.

3 つの設計パラメータから誤差感度を評価する手順を Fig.1 に示す.

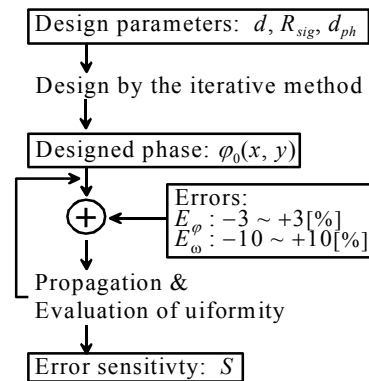


Fig.1 Procedure for evaluation of the error sensitivity.

まず与えられたパラメータにより反復回折法で位相分布を設計し, それにある範囲で位相誤差を加え, 同様に入射ビーム径にも誤差を加えて伝播させ, 誤差感度 S を求める.

4. GA による設計パラメータの最適化

GA による設計パラメータの最適化の手順を Fig.2 に示す。

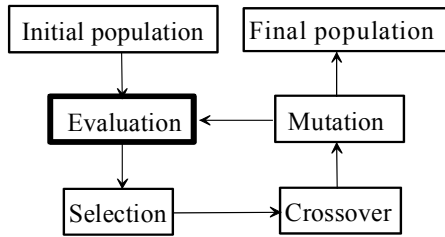


Fig.2 Procedure for optimization parameter by GA.

まず初めに、1組の設計パラメータ (d, R_{sig}, d_{ph}) を1つの個体とした複数の個体を生成する。ここで3つのパラメータは順に3,3,4桁の10進数としてその遺伝子をコーディングしている。次に、前述のFig.1の手順でこれらの個体がもつそれぞれの設計パラメータを与えて設計したDOEの誤差感度を評価する。この集団内で評価値が下位の個体の数%を淘汰し、残った個体を新しい集団に入れる。また、残った個体の中から評価値に応じてランダムに2つの個体を選択し、これらの個体の設計パラメータから1つの個体を生成し、新しい集団に入れる。この選択・交叉を淘汰した個体数だけ繰り返し、初期集団と同数の新しい集団を完成させる。最後に、突然変異として集団の数%の個体の設計パラメータの一部を変更する。これらの過程を繰り返すことで設計パラメータを最適化する。

5. パラメータ最適化の結果

最適化する際に用いたGAのパラメータを Table 1 に示す。また、3つの最適化設計パラメータの可変範囲を Table 2 に示す。なお、これらの設計パラメータはスケール変換した後に遺伝子コーディングしている。

Table 1 Parameters used for GA and DOE

Pixel size	10 [μm]
Number of pixels	1024×1024
Wavelength	1.06 [μm]
Number of population	60 [個]
Selection rate	95 [%]
Mutation rate	3 [%]

Table 2 The ranges of variable parameters

Pixels of non-signal area	0~200 [pixel]
Working distance	100~300 [mm]
Focal length of initial phase	1~10000 [mm]

最適化前のパラメータと均一性分布を Table 3 と Fig.3 に、また最適化後の結果を Table 4 と Fig.4 に

示す。この結果から、GAにより探索したパラメータで設計したDOEは誤差に対する許容度が大中に改善されていることがわかる。

Table 3 Non-optimized parameters

Working distance	140 [mm]
Focal length of initial phase	185 [mm]
Signal area	100[%]

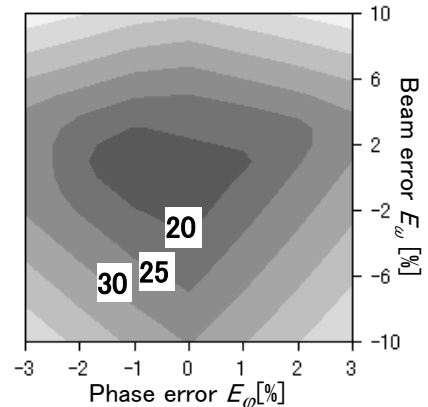


Fig.3 A map of uniformity f predicted for the phase and the beam error.

Table 4 Optimized parameters

Working distance	173 [mm]
Focal length of initial phase	224 [mm]
Signal area	62[%]

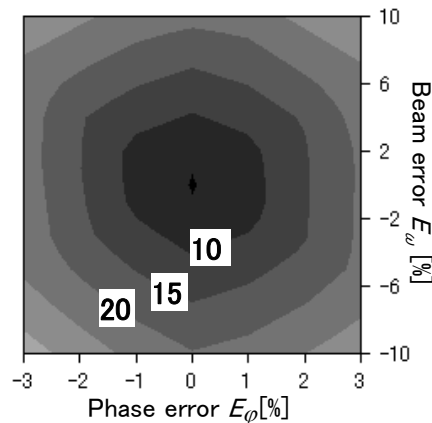


Fig.4 A map of uniformity f predicted for the phase and the beam error.

4. おわりに

GAにより設計パラメータを探索することにより、誤差感度を下げるだけでなく、誤差がない場合の均一性も向上できることが確認できた。

6. 文献

- [1] F. Wyrowski: J. Opt. Soc. Am., **A5**, 1058 (1988).
- [2] 松島 他: 光学シンポジウム 2004, 81 (2004).
- [3] 平田, 松島: OJ2003, 28-29 (2003).