

反復回折法と HIO アルゴリズムを組み合わせた フレネル型ビーム成形用回折光学素子の設計

Design of diffractive beam shapers by combination of the iterative diffraction method and HIO algorithm proposed in phase retrieval

○坂上広樹, 松島恭治

○Hiroki Sakaue and Kyoji Matsushima

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: sakaue@laser.ee.kansai-u.ac.jp

The improvement of the performance and reduction in computation time for designing diffractive beam shapers are attempted by a combination of the conventional iterative diffraction method and HIO algorithm proposed in the field of phase retrieval.

1. はじめに

回折光学素子 (Diffractive Optical Element, 以下 DOE) は、光の回折現象を利用し入射波面を別の波面に変換する光学素子である。フレネル型 DOE の設計には反復回折法 (Iterative Diffraction Method, 以下 IDM) [1] が用いられる。本研究では従来から用いられている IDM と位相回復の分野で提案されている HIO アルゴリズム (Hybrid Input-Output Algorithm, 以下 HIO) を組み合わせてフレネル型ビーム成形用回折光学素子の設計を行うことで、IDM 単独の場合よりも性能の向上及び設計時間の短縮を試みた。

2. HIO アルゴリズム

HIO アルゴリズムは位相回復処理の収束速度向上を目的として提案されているアルゴリズムである [2, 3]。IDM と HIO アルゴリズムの流れを Fig.1 に示す。位相分布 $t_m(x, y)$ を回折伝搬させたものを $U_m(x, y)$ とし、この $U_m(x, y)$ に対して像面での拘束条件を適用する。すなわち $U_m(x, y)$ の位相 $\arg(U_m(x, y))$ はそのまま、振幅 $|U_m(x, y)|$ を成形して得たいビーム形状を表わす信号関数の振幅 $|u_{sig}(x, y)|$ に置き換える。こうして得られる像面分布 $U'_m(x, y)$ を逆回折して $t'_m(x, y)$ が得られる。次に DOE 面での拘束条件として以下の処理を適用する。

$$(i) \quad t_{m+1}(x, y) = t'_m(x, y) / |t'_m(x, y)|$$

$$(ii) \quad t_{m+1}(x, y) = t_m(x, y) - \beta t'_m(x, y)$$

ここで (i) は従来通りの IDM であり、(ii) が HIO アルゴリズムである。 β はフィードバック定数であり、 $0 < \beta < 1$ の範囲の値を取る。これを新たな位相分布として反復を繰り返す。

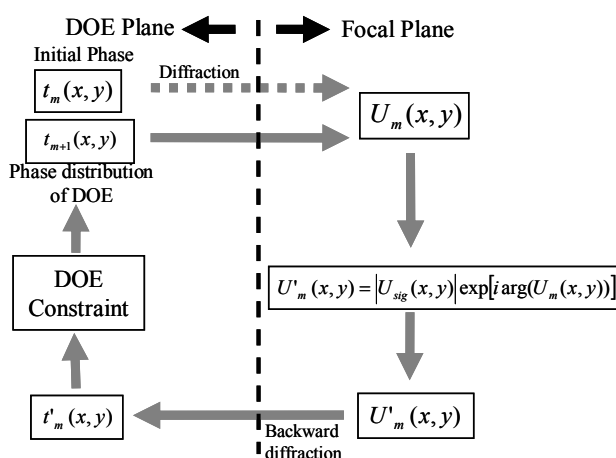


Fig.1 Flow of IDM and HIO algorithm

3. IDM と HIO の組み合わせによるビーム成形用回折光学素子の設計

IDM と HIO の組み合わせによる効果を確認するため、まず IDM と HIO を組み合わせたサイクルを 1~20 回反復し、その後、IDM 単独で S/N 比が所定の値以上になるために必要な全反復回数と反復処理後の素子のエネルギー効率を求めた。Fig.2 にこの組み合わせ方法を示す。ここでの組み合わせサイクルの定義を Fig.3 に示す。

本研究では組み合わせサイクルとして、Fig.3 (a) に示した様にまず IDM を連続して m 回 ($m \leq 3$)、次に HIO を連続して n 回 ($n \leq 3$) 実行する組み合わせ方と、その逆の組み合わせ方 (Fig.3 (b)) を試みた。以下では Fig.3 (a) の組み合わせ方を $ImHn$ 、Fig.3 (b) を $HnIm$ と表記する。

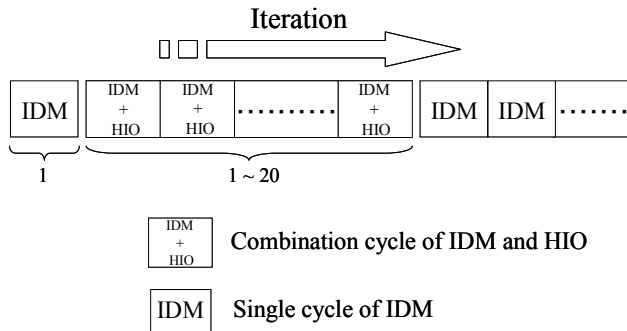


Fig.2 Design of beam shapers by combination of IDM and HIO algorithm

4. 実験結果

本研究ではガウスビームを均一な正三角形型強度分布に変換するビーム成形用回折光学素子の設計を想定してシミュレーションを行った。このときに用いたパラメータを Table 1 に示す。その際、収束速度の向上が見られたいくつかの結果を Fig.4 に示す。また設計した素子のエネルギー効率を Fig.5 に示す。

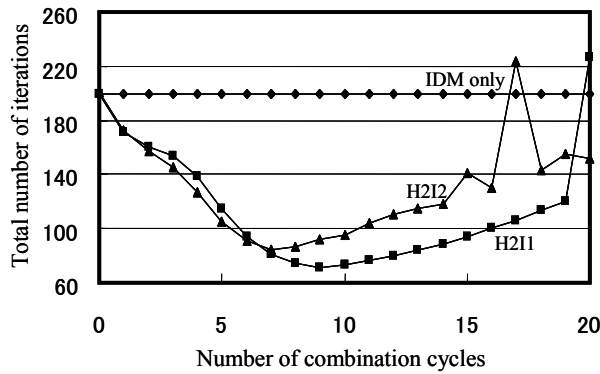


Fig.4 Comparison of convergence speed

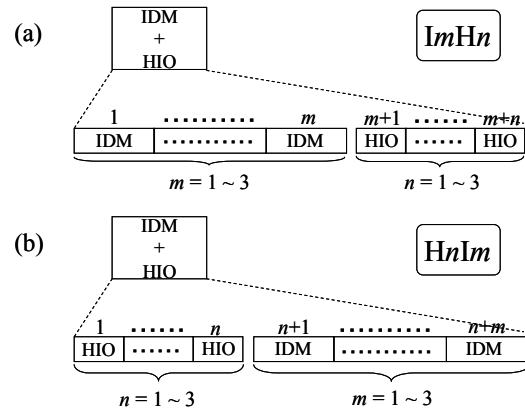


Fig.3 Definition of the combination cycles

Table 1 Parameter used for simulation

Wavelength	1.06 μ m
Number of pixels	1024 \times 1024
Pixel size	10[μ m]
Diameter of incident beam	ϕ 1.5[mm]
Working distance	325[mm]
Feedback coefficient (β)	0.1

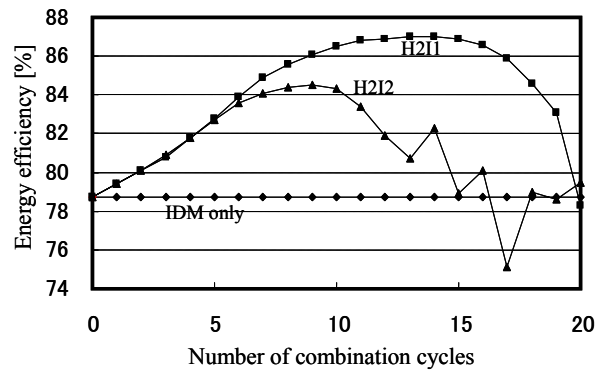


Fig.5 Comparison of energy efficiencies

Fig.4 より、IDM 単独で設計を行った場合より、IDM と HIO を組み合わせの方がほとんどの場合に速く収束することがわかる。HIO2 回と IDM1 回の組み合わせサイクルを 9 サイクル反復した場合が最も収束が速く、IDM 単独で設計を行う場合の 3 分の 1 程度の時間で収束できることがわかった。また Fig.5 より、IDM 単独で設計を行った場合より、IDM と HIO を組み合わせの方がエネルギー効率が良くなっていることが確認できる。HIO2 回と反復回折法 1 回を組み合わせ 13 サイクル反復した場合が最もエネルギー効率が高く、IDM 単独で設計を行う場合より 8%程度向上することがわかった。

5. おわりに

ここでは、信号関数に正三角形型を用いた例を示したが、他の形状のいくつかのビーム成形用回折光学素子についても同様なシミュレーションを行った。その結果、いくつかの組み合わせサイクルで収束速度やエネルギー効率の向上が見られることがわかった。また、その中でも H2I1 の組み合わせサイクルで最も良い結果が得られた。ただし、最も収束速度の向上が見られるサイクル数と、最もエネルギー効率が高くなるサイクル数が違うため、どちらを優先するかは多い場合トレードオフとなることがわかった。

6. 文献

- [1]松島, 森村, 平井, 布施, 栗巢, 江畑: “計算機合成ホログラムの手法で設計した任意形状ビーム成形用回折光学素子”, 第 29 回光学シンポジウム講演予稿集, 81 (2004).
- [2]高城, 高橋: “位相回復におけるハイブリッドインプットアウトプット・アルゴリズムの能力について”, 光学, **22**, 419-427 (1993).
- [3]高城, 高橋, 伊藤, 藤崎: “位相回復に用いるフーリエ反復法の改善”, 光学, **32**, 39-45 (2003).