

## 最適化拡散係数を用いた誤差拡散法による キノフォーム再生像の改善

### Improvements of reconstruction of an electronic Kinoform encoded by error-diffusion using optimized coefficients.

○細川俊彰, 松島恭治

○Toshiaki Hosokawa and Kyoji Matsushima

関西大学電気電子情報工学科

Department of Electrical and Electronic Eng., Kansai Univ.

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

When complex-valued wave fields are encoded to phase-only distribution, it is well-known that strong noise occurs especially in cases of a small number of phase-quantized levels. We propose an optimized error-diffusion method to ease the noise and improve optical reconstructions. In this method, diffusion coefficients are optimized so as to fit the characteristics of SLM. Influence of the number of diffusion coefficients on reconstruction is discussed.

#### 1. はじめに

位相変調型ホログラムであるキノフォームは、位相値の量子化レベル数が3値以上の場合、原理的に再生像に共役像が発生しないため、光学系をコンパクトにできる。しかし、物体光波の複素振幅分布を位相値にコーディングした場合、特に量子化数が少ない場合には、著しいノイズが発生し、再生像が劣化することが知られている。そこで我々は、同時摂動型最適化法(Simultaneous Perturbation Algorithm, 以下 SPA)により拡散係数の最適化を行った誤差拡散法<sup>1)</sup>により位相量子化を行うことで、キノフォーム再生像の改善を行う手法を提案している<sup>2)</sup>。この手法では、再生像面で指定した領域の周囲にノイズを効率よく拡散できる特徴がある。そこで本稿では、拡散係数の条件を変えた場合の位相型 SLM によるキノフォームタイプ電子ホログラフィの再生像の改善効果について報告する。

#### 2. 最適化拡散係数を用いた誤差拡散法

キノフォームタイプ電子ホログラフィのモデルを Fig.1 に示す。仮想の物体光波を逆フーリエ変換して得られる SLM 面での複素振幅分布の振幅値を1とし、閾値により位相を量子化することで位相分布へコーディングする。しかし、このコーディングが再生像のノイズの原因となる。そこで、SPA により  $n$  個の誤差拡散係数  $A=(A_1, \dots, A_n)$  を同時に最適化し<sup>1)</sup>、その拡散係数を用いた誤差拡散法による量子化を行う。ここで、SPA に用いた評価関数として、符号を反転した S/N 比を用いている。S/N 比は、本来の物体光波の複素振幅分布  $g(x, y)$  とコーディング後のホログラムのシミュレーション再生像の複素振幅分布  $\bar{g}(x, y)$  より、

$$R = \frac{\iint_S |\bar{g}(x, y)|^2 dx dy}{\iint_S |\bar{g}(x, y) - \alpha g(x, y)|^2 dx dy}, \quad \alpha = \frac{\iint_S \bar{g}(x, y) g^*(x, y) dx dy}{\iint_S |g(x, y)|^2 dx dy} \quad (1)$$

と定義している。この  $R$  は  $g(x, y)$  と  $\bar{g}(x, y)$  の類似度が高いと大きな値をとる。ここで、積分範囲  $S$  は再生光波の中でも物体像を含む部分のみとする。また、 $\alpha$  は  $R$  を最大にするような複素数である。本稿では、Fig.2(a)-(d)中に黒で示したピクセルの誤差を周囲の 4, 12, 24, 40 個のピクセルに  $A_i (1 \leq i \leq n)$  の割合で拡散し

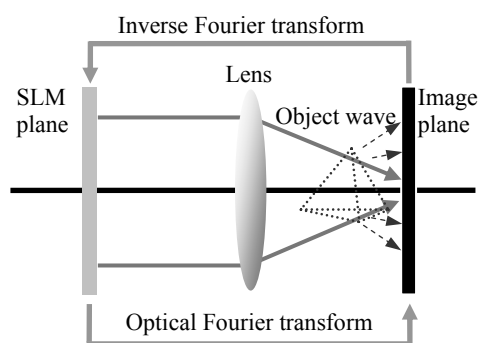


Fig.1 The model of Kinoform-type electro-holography.

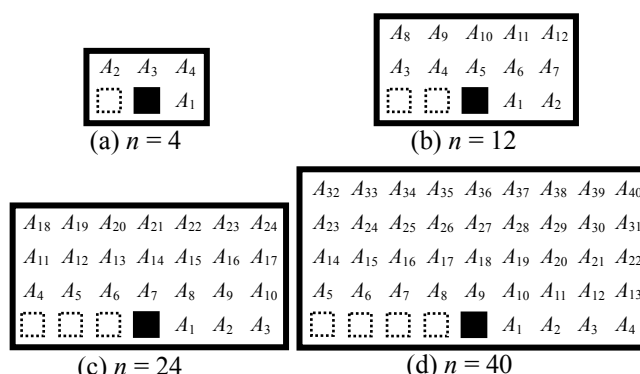


Fig.2 Patterns of diffusion coefficients.

た.また、この拡散係数を実数とした場合と複素数とした場合のそれぞれで処理を行い S/N 比で評価した. なお、誤差拡散は水平方向には左から右、垂直方法には下から上へと処理していくラスタ走査で行った.

### 3. 数値実験と位相型 SLM による光学再生実験

Fig.3 にシミュレーションを行った物体の大きさと配置を示す. 再生物体として 1 辺が 8[mm]のワイヤーフレームの正四面体を像面から 100[mm]離れた位置に置いた. この物体光波の数値合成に用いたパラメータを Table 1 に示す. Fig.4 (a)に物体光波の像面での振幅分布を示す. Fig.4(b)は位相量子化を閾値 8bit で行っただけのキノフォーム再生像の振幅分布であり、本稿ではこれを単純位相コーディングと呼んでいる. Fig.2 の拡散係数が 4 個と 40 個の場合、また実数と複素数の場合についてそれぞれ最適化誤差拡散係数により量子化したキノフォーム再生像の振幅分布を Fig.5 に示す. SPA の評価領域は 1024×1024[pixel]であり、Fig.4 (a)の物体光波複素振幅に対する S/N 比で評価している. また、Fig.2 の 4 つの拡散パターンに対する S/N 比を Fig.6 に示す. これらの結果より拡散係数の個数が多いほどノイズが拡散し S/N 比が向上することがわかる.

位相型 SLM によるキノフォームタイプ電子ホログラフィの光学再生実験の結果を Fig.7 に示す. ここで、位相型 SLM としてピクセルピッチ 8.0[μm], ピクセル数 1920×1080[pixel]の HOLOEYE 社製の PLUTO を使用した. なお、数値実験ではサンプリング数が 2048×2048[pixel]であるため、SLM のサンプリング数に合わせて中央部分の 1920×1080[pixel]を切り取り、SLM に表示している. また、本研究で用いた SLM は非回折光比率が 60%であるため、光学再生像の中心部に非常に強い非回折光が生じる. そのため、Fig.3 に示すように像面に 0.28[mm]径の線上遮蔽物を置き非回折光の除去を行っている.

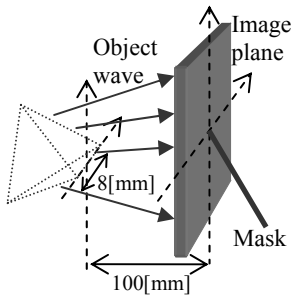


Fig.3 Layout of the object.

Table 1 Parameters used for calculation of the object wave.

Focal distance of Fourier lens	300[mm]
Reconstruction wavelength	632.8[nm]
Number of samplings	2048×2048[pixel]
Sampling distance	11.58[μm]
Linear density of point sources	100000 [point/m]
Depth of object	100[mm]
Pixel size of assessment area	1024×1024[pixel]

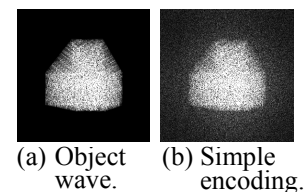


Fig.4 Amplitude images in the image plane.

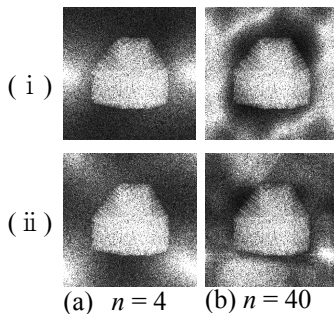


Fig.5 Amplitude images obtained by real ( i ) and complex ( ii ) coefficients.

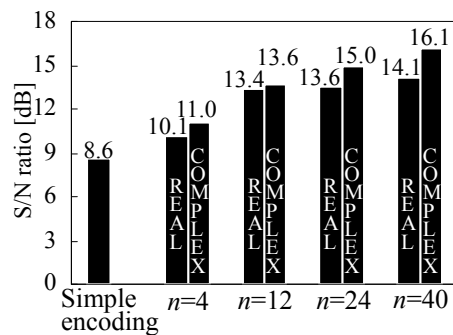


Fig.6 S/N ratio of simulated reconstruction.

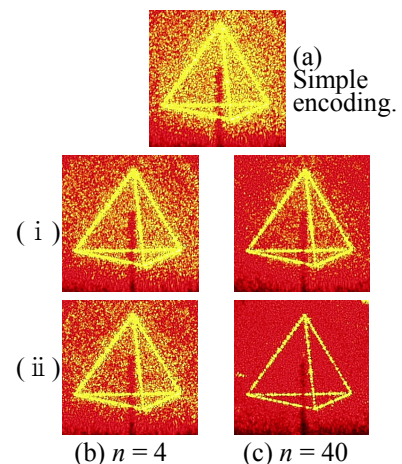


Fig.7 Optical reconstruction of electro-holography: real ( i ) and complex ( ii ) coefficients.

### 4. まとめ

SPA を用いて誤差拡散係数の個数や実数と複素数を変えて最適化を行った. その結果、拡散係数が多い方が S/N 比が高くなりノイズの拡散が良好であることがわかった. また、数値実験でも光学再生実験でも、単純位相コーディングより良好な再生像が得られることが確認できた.

### 文献

- 1) 松尾, 松島:映情学誌 **60**, 561(2006).
- 2) 細川, 松島, 堀越: 3次元画像コンファレンス 2009 講演論文集, 101 (2009).