

CGHの2値位相コーディングにおける同時摂動型最適化法を用いた適応型誤差拡散法

An adaptive error-diffusion by the simultaneous perturbation algorithm in binary phase-encoding of CGHs

松尾大樹 西村慎祐 松島恭治

Daiki Matsuo Shinsuke Nishimura Kyoji Matsushima

関西大学工学部電気工学科

Department of Electrical Engineering, Kansai University

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

In binary phase coding of computer-generated holograms (CGHs), the quantization usually drops quality of its reconstruction image. In order to reduce the quantization noise, an adaptive error-diffusion method by use of the simultaneous perturbation algorithm (SPA), in which the diffusion coefficients are adapted for size and layout of the object, is proposed.

1. はじめに

計算機合成ホログラム (Computer Generated Hologram, CGH) は仮想物体からの光波の回折と干渉をコンピューターによりシミュレートすることによって作成される。その中でも位相型のフーリエCGHは、明るくまた低い解像度で大きな視域が得られる利点がある。一方、多値の位相分布を作成することが困難であるため、量子化ノイズによる再生像の劣化が生じる。

この量子化ノイズを緩和するために、誤差拡散法(error-diffusion)[1]の利用が提案されている。しかし、従来用いられてきた固定的な拡散荷重では物体の位置や大きさによってはほとんどノイズ軽減効果が期待できない場合があった。そこで本研究では、物体の位置、大きさに応じた拡散係数を同時摂動型最適化法(simultaneous perturbation algorithm, 以下SPA)[2]により求める適応型誤差拡散法を提案する。この種の手法としては、すでにGAによるものが提案されているが[3], SPAはGAに比べて評価値を求める回数が少ないため、高速化が期待できる。

2. 誤差拡散法による2値位相型フーリエCGH

位相型フーリエCGHは再生したい物体光波(以下、入力物体像)を逆フーリエ変換して得られる複素分布の振幅値を1にコーディングし、位相値を量子化して位相ホログラムを得るものであり、それらの操作の際に生じる複素値の誤差を周囲に拡散して全体としての誤差を減少させる。

本研究では入力物体像としてFig. 1に示す 128×128 ピクセルの振幅値像を用いた。 512×512 標本点の複素画像上に振幅値として入力し、入力画像 $f(x, y)$ を作成する。入力物体像の入力画像上の位置は任意に決めるものとする。また、入力画像の位相は $-\pi$ から $+\pi$ に一様乱数化する。

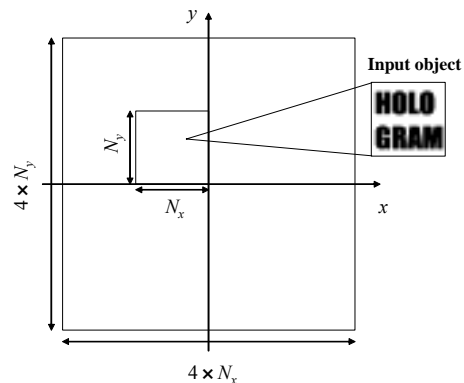


Fig 1 Layout of the input object.

3. SPAを用いた適応型誤差拡散法

SPAによる拡散係数の最適化の流れをFig. 2に示す。本研究では拡散処理を行う操作法としてFig. 3に示すようなラスタ走査(raster-scan)を用いた。

まず始めに、 n 個の拡散係数 $A=(a_1, \dots, a_n)$ によりコーディングし、フーリエ回折による再生像 $\bar{g}(x, y)$ を求め、その評価値を求める。次に、ランダムな摂動 cS を加えた拡散係数 A_p で同様にコーディングと回折計算を行い再生像の評価値を求める。ここで S は+1または-1のランダム値から成る符号ベクトルである。

この二つの評価値から、Fig. 2に示したとおり、修正ベクトル M を求め、 M にゲイン係数 g を掛けて拡散係数を修正する。以上を反復して評価値が最小となる様に拡散係数の修正を繰り返す。ここで、摂動 c とゲイン係数 g は最適化の制御パラメータである。

評価値を求める評価関数として、次式で示す入力像と再生像のS/N比を用いた。

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

ここで、スケールファクター α は R を最大化する複素係数であり

$$\alpha = \frac{\iint \bar{g}(x,y) |f^*(x,y)| dx dy}{\iint |f(x,y)|^2 dx dy} \quad (2)$$

で与えられる。なお、実際には、SPAは評価関数の極小解を求めるアルゴリズムであるため、S/N比の逆数 R^{-1} を評価関数としている。

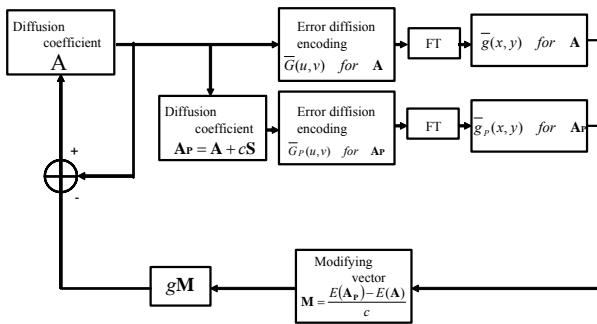


Fig 2 Procedure of the adaptive error-diffusion by the simultaneous perturbation algorithm.

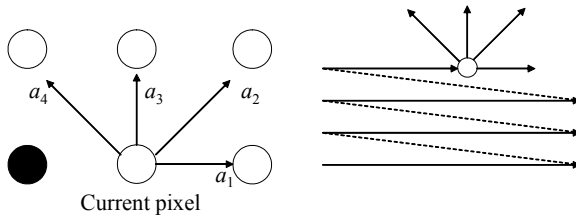


Fig 3 Diffusion coefficients and the raster-scan in the error-diffusion.

4. 結果

提案手法の効果を示すため、もっとも基本的な拡散係数として知られているFloyd-Steinberg型[4]の拡散係数 $A_{FS}=(7/16, 3/16, 5/16, 1/16)$ を比較の対象として用いた。

Fig 4(a)に SPA を用いた適応型誤差拡散法によって得られた再生像(シミュレーション)を示す。また Fig 4(b)に Floyd-Steinberg 型拡散係数によって得られた結果を示す。適応型誤差拡散法では入力物体の配置パターンに応じてノイズが軽減されたフリーゾーンの形が変化するのに対して、一定のFloyd-Steinberg 型係数ではフリーゾーンも一定であることがわかる。各配置パターンでの再生像のS/N比の比較を Fig 5 に示す。

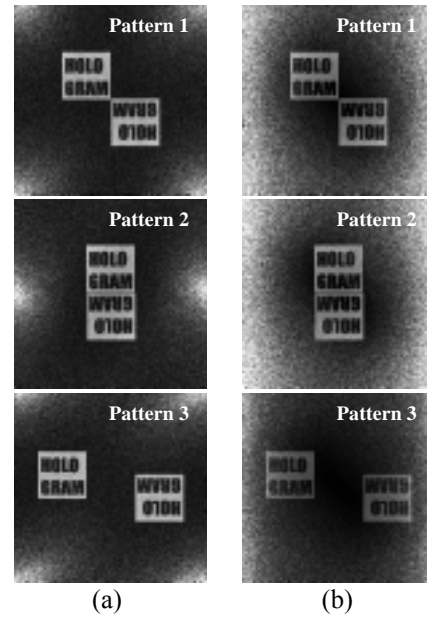


Fig 4 Reconstruction of Fourier holograms encoded by the error-diffusion in proposed method (a) and the Floyd-Steinberg method (b).

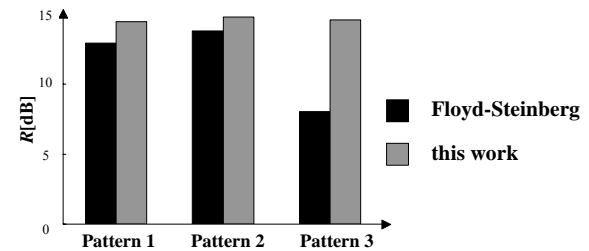


Fig 5 S/N ratio in reconstruction.

5. まとめ

本研究では、SPA を用いて入力物体像の配置に対して拡散係数の最適化を行った。その結果、入力物体の位置や大きさに対応して量子化ノイズと再生像を空間的に分離できることを確認できた。また、Fig 5 から、適応型誤差拡散法でコーディングしたホログラムの再生像の S/N 比は従来用いられてきた Floyd-Steinberg 型の S/N 比より高く、良好な再生像が期待できることがわかった。

文献

- 1) S.Weissbach, F.Wyrowski, O.bryngdahl: "Digital Phase Holograms: Coding and quantization with an error diffusion concept", Opt. Commun., **72**, 37-41 (1989).
- 2) 前田, 金田: "時刻差分同時摂動型最適化法", 関西大学「技苑」, **88**, 25-27 (1996).
- 3) 田中: "GA による計算機ホログラムにおける最適誤差拡散の推定方法", 映情学誌, **50**, 394-401 (2000).
- 4) O. B. Richard Hauck: "Computer - generated holograms with pulse - density modulation", J. Opt. Soc. Am., **1**, 5-10 (1984).